

サーマルストライピング低減化方策の解析的検討 (I)

整流筒および制御棒上部案内管の幾何形状効果の検討

1996年1月

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター

この資料は、動燃事業団社内における検討を目的とする社内資料です。ついては複製、転載、引用等を行わないよう、また第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう注意して下さい。

本資料についての問合せは下記に願います。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター

システム開発推進部 技術管理室

サーマルストライピング低減化方策の解析的検討 (I)

～整流筒および制御棒上部案内管の幾何形状効果の検討～

報告者	松本 英一※
実施責任者	村松 寿晴※※

要 旨

高速原型炉「もんじゅ」では、炉心出口近傍に位置する各種構造物をサーマルストライピングによる熱疲労から適切に保護するため、高温・高サイクル疲労強度に優れた ALLOY 718 を使用している。この保護部材は、基本的に最大温度ゆらぎ振幅が 30℃ を上回る全ての範囲に適用されている。

一方、現在の高速炉開発においては、設計の合理化を図りつつも経済性を向上させることが求められている。このうち、ALLOY 718 の単価は、SUS 304 のそれと比べて約 10 倍と高価であるため、これを適用する領域を削減できれば設計の合理化に大きく寄与することが可能であると考えられる。

本報は、「もんじゅ」炉心上部機構領域の内、ALLOY 718 適用部材にあたる整流筒を削減した体系を対象とし、制御棒上部案内管の形状、および支持管板設置高さに関する解析を行い、温度ゆらぎ分布特性について検討を行ったものである。なお、解析に際しては、これまでサーマルストライピング現象を解析的に評価できるよう開発・検証を進めてきた汎用多次元コード AQUA を用い、以下の結論を得た。

- (1) 整流筒を削減した場合、制御棒案内管をハンドリングヘッド上端近く (50 mm) ままで延長することにより、支持管板設置高さに関係なく、温度ゆらぎ振幅のピーク値は一定値 (全温度差の 8%) となる。
- (2) 支持管板設置高さが燃料集合体ハンドリングヘッド上端から 0.20m 以内であれば、炉心出口温度と熱電対先端温度との差を 1.5 % 以内に収めることが可能となる。

※ ; 株式会社 CSK オープンシステム事業部

※※ ; 大洗工学センター基盤技術開発部 熱流体技術開発室

Investigation for Reduction Thermal Striping using Numerical Method (I)

~Investigation on the Effects of the Geometry of Flow Guide Tube and C/R Guide Tube~

Eiichi Matsumoto[※]、Toshiharu Muramatsu^{※※}

Abstract

MONJU reactor adopted ALLOY 718 as a coating material to protect upper core structure in core outlet region against thermal striping. This material is applied for the region where temperature fluctuation amplitude is upper 30 °C.

On the other hand, rational design and cost reduction are required for present FBR design. Reduction of ALLOY 718 will contribute to rational design, because ALLOY 718 is ten times expensive of SUS 304.

In this study, thermal striping conditions was evaluated for upper core region of MONJU reactor without flow guide tube using ALLOY 718. The evaluation was mainly focused on the thermal striping conditions of C/R guide tube length and the support plate height using a multi-dimensional thermohydraulic analysis code AQUA. From the analysis, the following results have been obtained.

- (1) In the case of no flow guide tube, peak of temperature fluctuation amplitude was constant (8 % of temperature difference) with extension of the C/R guide tube length by 50 mm height from top of fuel subassembly. In this case, the peak of temperature fluctuation amplitude was not depend on the level of the support plate.
- (2) If support plate height from top of fuel subassembly is below 0.20 m, the difference between core outlet temperature and temperature at the tip of thermocouple well is within 1.5 %.

※ ; Open System Division ,CSK Corp.

※※ ; Thermal Hydraulic Research Section ,Advanced Technology Division,OEC,PNC

サーマルストライピング低減化方策の解析的検討（Ⅰ）
～整流筒および制御棒上部案内管の幾何形状効果の検討～

目 次

第 1 章 緒言	1
第 2 章 炉心上部機構構造	2
第 3 章 温度ゆらぎ強度の空間分布の解析	3
3.1 解析条件	3
3.2 解析結果	3
第 4 章 考察	6
4.1 平均温度検出特性	6
4.2 温度ゆらぎ分布特性	6
第 5 章 結言	8
参考文献	9
APPENDIX	72
1. 本解析で用いた入力データ	73

第1章 緒言

高速原型炉「もんじゅ」では、炉心出口近傍に位置する構造物を、同位置にて発生するサーマルストライピングから適切に保護するため、高温・高サイクル疲労強度に優れた ALLOY 718 を使用している。この構造対策は、水やナトリウムを用いたモックアップ実験により得られた結果に基づいて、実機条件（プラント寿命期間中における各部位での温度ゆらぎ頻度分布等）に外装し、以下に示すように決められた。

- (1) 構造強度部材は SUS304 とし、サーマルストライピングによる熱応力が構造強度部材に影響しないよう熱遮蔽板を設ける。
- (2) サーマルストライピングによる熱応力が大きい部位については、高温・高サイクル疲労強度に優れた ALLOY 718 の熱遮蔽板により保護する。
- (3) 構造強度部材以外の一部部品（整流筒）については、構造の複雑化を防止する観点より、ALLOY 718 を用いて直接制作する。
- (4) サーマルストライピング対策部材である ALLOY 718 は、SUS 304 設計疲労曲線（600℃条件）による許容ひずみ範囲の評価結果に基づき、温度ゆらぎ幅 ΔT が 30℃ を上回る全ての領域に適用する。

この「もんじゅ」に対するサーマルストライピング対策の妥当性については、汎用多次元コード AQUA を用いて評価・検討が行われている。その結果、30℃ を上回る温度ゆらぎ振幅領域は、ALLOY 718 が採用された全表面積の 22 % に留まることが示されている¹⁾。

さらに、温度ゆらぎ振幅の低減化方策について検討され、温度ゆらぎ振幅の影響範囲を狭める観点からは支持管板を可能な限り下方に設置すること、影響緩和の観点からは制御棒集合体流量を減少させることが望ましいことが示された²⁾。

本報では、もんじゅの炉心上部形状を対象とし、炉心上部機構の幾何形状を変更することにより、サーマルストライピングの影響を受ける領域や温度ゆらぎ分布特性がどう変わるか、およびハンドリングヘッド直上に位置する熱電対の温度検出特性を検討する。解析は、設計合理化の観点から整流筒を削減した体系を対象とし、制御棒上部案内管の形状を変えた場合、および支持管板の設置高さを変えた場合について実施する。

第2章 炉心上部機構構造¹⁾

Fig.2.1 に、高速原型炉「もんじゅ」の原子炉容器垂直断面図を示す。また、Fig.2.2 に炉心上部機構領域（整流筒下端～熱遮蔽板下面）の垂直断面構造を示す。

炉心上部機構下端領域に位置する整流筒 (Flow Straightener)、支持管板 (Support Plate) および制御棒上部案内管 (CR Upper Guide Tube) は、炉心燃料集合体ハンドリングヘッドより流出する高温ナトリウムと制御棒下部案内管より流出する低温ナトリウムとの混合により発生する温度ゆらぎ場に位置するため、定常的な高サイクル熱疲労を受ける。このため、整流筒については高温・高サイクル疲労強度に優れた ALLOY 718 により直接製作され、また支持管板および制御棒上部案内管についてはこれらの母材である SUS 304 を ALLOY 718 により保護する構造となっている。なお、サーマルストライピング対策部材である ALLOY 718 を適用する範囲は、プラント寿命 30 年、プラント稼働率 80 %、温度ゆらぎ優勢周波数 2.0Hz、許容歪み範囲 $\epsilon < 0.09\%$ などの評価条件を使用し、温度ゆらぎ幅が 30 °C を越える全ての領域がその対象とされた。具体的には、整流筒、制御棒上部案内管、支持管板および計装ウエルがこれにあたる。なお、ALLOY 718 の肉厚は、温度ゆらぎ減衰率の再評価に基づき、4 mm に決定されている。

第3章 温度ゆらぎ強度の空間分布の解析

3.1 解析条件

解析体系は、「もんじゅ」炉心上部領域の内、Fig. 2.2 中に示した7本集合体体系（B断面、斜線領域）とする。同体系は、制御棒集合体1体を中心位置に含む7本集合体のハンドリングヘッド（制御棒集合体については、下部案内管上部領域）およびこれらの上部に位置する炉心上部機構の熱遮蔽板までを模擬したものである。なお、解析では、設計合理化の観点から全ケースにおいて整流筒を取り外した体系を対象とした。解析ケースは以下に示すように、制御棒上部案内管を支持管板より下部に延長した場合としない場合、および支持管板高さ H_s を変えた場合の合計9ケースである。Fig. 3.1 に本解析で用いたメッシュ分割を示す。メッシュ分割は3次元1/4セクターモデルを用い、半径方向に20メッシュ、周方向に24メッシュ、高さ方向に62メッシュの総数約24000～24500でモデル化した。また燃料集合体ハンドリングヘッド内には砲弾型上部中性子遮蔽体が存在するため、冷却材はこの遮蔽体とラッパ管との間隙を縫うように流れる。このため、燃料束部で形成された流速分布は、この形状によって乱される。本解析では流量に関し、制御棒集合体流量 8.18 kg/s、燃料集合体流量 21.36 kg/s とし、文献3) で計算された流速分布を入口境界条件として用いた。温度条件は、制御棒集合体出口温度が 408 °C、燃料集合体出口温度は 560 °C で最大温度差 152 °C である。

		制御棒上部 案内管 延長 なし	制御棒上部 案内管延長 あり	最大温度差
H_s	0.060(m)	CASE-1		152.0°C
	0.200(m)	CASE-2	CASE-6	
	0.375(m)	CASE-3	CASE-7	
	0.540(m)	CASE-4	CASE-8	
	0.700(m)	CASE-5	CASE-9	

H_s : ハンドリングヘッド上端から支持管板までの距離

3.2 解析結果

[Case - 1 , - 2 , - 3 , - 4 and - 5]

Case - 1 ～ Case - 5 の解析結果の内、垂直断面 ($J=1 \sim 17$) における流速分布の比較を Fig.3.2 に示す。各ケースについて共通な流動特性は、次の通りである。すなわち、燃料集合体ハンドリングヘッドから高温冷却材が垂直に流出する周方向断面 ($J=1 \sim 5$ および $J=12 \sim 17$) では、その吹き上げが非常に強いために整流筒が設置されていないにもかかわらず、ハンドリングヘッド直上に設けられた貫通孔内に高温冷却材の大半が流入する。一方、燃料集合体ハンドリングヘッドが存在しない周方向断面 ($J=6 \sim 11$) では、

高温冷却材の余剰分が支持管板に設けられたフローホールを通してその上部領域に至る。また、制御棒集合体からの低温冷却材は、慣性力によって一旦上部案内管内に流入するものの、燃料集合体からの高温冷却材の吹き出しに起因したジェット効果によって、上部案内管下端から吸い出される。

垂直断面 ($J=1 \sim 17$) での平均温度分布を Fig.3.3 に比較する。図中における平均温度は、(3.1) 式を用いて規格化を実施したものである。

$$T_N(\%) = \frac{T - T_c}{\Delta T} \times 100 \quad (3.1)$$

ここで、 T_c は制御棒集合体出口温度 (408°C)、 ΔT は燃料集合体と制御棒集合体での最大冷却材温度差 (152°C) である。結果より分かる通り、支持管板設置位置を高くしていくに従い、支持管板より下側において低温冷却材の占める領域が広がる。これは、燃料集合体から流出した高温冷却材の大半が、整流筒を設置しなくとも、ハンドリングヘッド直上に設けられた貫通孔内に流入するため、支持管板より下側の領域は制御棒集合体からの低温冷却材に支配されることに起因する。また、制御棒案内管内の上部には高温冷却材が滞留する。従って、支持管板の設置位置が低いほど高温冷却材と低温冷却材との混合が抑制されるため制御棒案内管内の軸方向温度勾配が大きいことがわかる。

垂直断面 ($J=1 \sim 17$) における温度ゆらぎ振幅の空間分布を Fig. 3.4 に示す。同図に示した温度ゆらぎ振幅は、(3.2) 式により規格化を施したものである。

$$\bar{\theta}'_N(\%) = \frac{\sqrt{\bar{\theta}^2}}{\Delta T} \times 100 \quad (3.2)$$

ここで、 $\bar{\theta}^2$ は、AQUAコードより計算された温度ゆらぎ強度の時間平均値である。結果では、支持管板の設置位置を高くしてゆくに従って、高振幅領域が広がる傾向を示している。さらに、その振幅値も支持管板の設置位置が高い方が大きなものとなった。詳細については次章で検討する。

[Case - 6, - 7, - 8 and - 9]

ここでの比較は、制御棒上部案内管下端とハンドリングヘッド上端との距離を一定に保ちながら (制御棒上部案内管長さを延長) 支持管板の設置高さを変えたケースである。Fig. 3.5 に垂直断面 ($J=1 \sim 17$) における流速分布の比較を示す。各ケースについて共通の流動特性は以下の通りである。制御棒上部案内管長さを支持管板下部より延長したこと

により、燃料集合体ハンドリングヘッドより流出した高温冷却材は、制御棒集合体から流出する低温冷却材とほとんど混合することなく直上の貫通口内に流入する。一方、燃料集合体ハンドリングヘッドが存在しない周方向断面 ($J=6 \sim 11$) では、高温冷却材の余剰分と制御棒集合体からの低温冷却材とが混合しながら支持管板に設けられたフローホール内に流入する。

垂直断面 ($J=1 \sim 17$) における平均温度の空間分布を Fig.3.6 に、また温度ゆらぎ振幅の空間分布を Fig. 3.7 に示す。なお、両図中の平均温度および温度ゆらぎ強度は (3.1) 式および (3.2) 式を用いて規格化を施した。本ケース (Case - 6 ~ 9) においては制御棒上部案内管の下端とハンドリングヘッド上端との距離が同一のため、支持管板設置高さを変えても案内管内の平均温度分布、温度ゆらぎ振幅の空間分布ともに大きな相違は見られない。また全てのケースにおいて、最も大きな平均温度勾配および温度ゆらぎ振幅が発生する箇所はハンドリングヘッド上端から制御棒上部案内管下端までの間の領域に限定されることがわかる。

第4章 考察

4.1 平均温度検出特性

Fig. 4.1に支持管板の設置高さと熱電対先端 ($I=13, J=16$) における冷却材の温度の関係を示す。図より整流筒がない場合、支持管板設置高さが大きくなるにつれて炉心出口温度との差が大きくなっていくことがわかる。制御棒上部案内管延長ありのケースの方が延長なしのケースより温度が低くなるのは、制御棒から流出した低温冷却材が制御棒上部案内管下端に衝突し、流れ方向が変わることにより、燃料集合体から流出する高温冷却材と若干混合するためである。しかしながら、支持管板設置高さが0.2 m以内であれば、整流筒を削減しても炉心出口温度と熱電対先端温度との差は1.5 %以内に収まっており、仮に整流筒を削除した場合でも燃料集合体出口ナトリウム温度を概ね正確に検出可能であると推定される。

4.2 温度ゆらぎ分布特性

Fig. 4.2 に、制御棒延長軸壁位置 ($I=2, J=16$) における温度ゆらぎ振幅の軸方向分布を示す。図中の横軸は、(3.2) 式により規格化を行った温度ゆらぎ振幅であり、縦軸は集合体上端（ハンドリングヘッド面）からの軸方向距離である。図よりハンドリングヘッド上端と支持管板との距離が大きくなると共に温度ゆらぎのピーク値が大きくなっていくことがわかる。Case-1では、支持管板設置高さが低く、制御棒集合体から流出する低温冷却材と燃料集合体より流出する高温冷却材との混合が極めて少ないため、温度ゆらぎのピーク値は全温度差の8 %以内と小さい。

Case- 2, 3, 4, 5 においては支持管板までの距離がポテンシャルコアの軸方向距離より大きくなると共に、貫通孔内に入りきれない燃料集合体からの高温冷却材も多くなるため、冷却材の混合がより顕著になり温度ゆらぎのピーク値も大きくなっていると考えられる。

Case- 6, 7, 8, 9 は制御棒上部案内管を支持管板より下部に延長したため、案内管下端とハンドリングヘッド上端との距離は全て一定である。本ケースでは、制御棒上部案内管内の流況が一定のため、支持管板との距離に関係なく温度ゆらぎのピーク値は一定値（全温度差の8 %）となっている。

Fig.4.3 に、制御棒上部案内管内壁位置 ($I=7, J=16$) における温度ゆらぎ振幅の軸方向分布を示す。Case- 3, 4 では他のケースとは異なりピーク値は案内管内壁下端となっている。これは、案内管内壁下端が燃料集合体より流出する高温流体と制御棒集合体からの低温流体との境界上部に位置しているため、Case- 3, 4 の体系において最も温度振幅の大きい冷却材が構造物表面に衝突するためであると考えられる。一方 Case- 5 では、冷却材はすでに混合が促進されているため温度ゆらぎは極めて低い。

Case- 6, 7, 8, 9 においては、延長された制御棒案内管により低温冷却材と高温冷却材の混合が制限されるため、ハンドリングヘッド上端と支持管板設置高さに関係なく、温度

ゆらぎ振幅のピーク値は一定値（全温度差の8 %以内）となる。この値を最大温度ゆらぎ振幅（平均温度ゆらぎ振幅の約3倍）に換算すると約36.5℃となる。従って、従来のサーマルストラッピング設計に従えば、制御棒上部案内管を ALLOY 718 により保護する必要があるが、熱疲労の原因となる温度ゆらぎ振幅を限定する観点からは、制御棒上部案内管をハンドリングヘッド上端近くまで延長することが有効であると考えられる。

今後は、本報で得られた結果を一般化する観点から、より実機に近い整流筒部クロスフロー効果や、燃料集合体内に砲弾型中性子遮蔽体を含まない条件での評価を実施する。

第5章 結論

高速原型炉「もんじゅ」では、炉心出口近傍に位置する各種構造物をサーマルストライピングによる熱疲労から適切に保護するため、高温・高サイクル疲労強度に優れた ALLOY 718 を使用している。この保護部材は、基本的に最大温度ゆらぎ振幅が 30℃ を上回る全ての範囲に適用されている。

本報では、ALLOY 718 適用部材の内、整流筒を削減した体系を解析対象とし、制御棒上部案内管の形状、および支持管板設置高さをパラメーターとして解析・検討を行い、以下の結論を得た。

- (1) 整流筒を削減した場合、制御棒案内管をハンドリングヘッド上端近く (50 mm) ままで延長することにより、支持管板設置高さに関係なく、温度ゆらぎ振幅のピーク値は一定値 (全温度差の 8%) となる。
- (2) 支持管板設置高さが燃料集合体ハンドリングヘッド上端から 0.20m 以内であれば、炉心出口温度と熱電対先端温度との差を 1.5 % 以内に収めることが可能となる。

参考文献

- 1) 村松 壽晴、冷却材温度ゆらぎ現象の解析的評価手法の開発(V)、高速原型炉「もんじゅ」におけるサーマルストライピング条件の解析的検討 PNC N9410 92-363(1992)
- 2) 村松 壽晴、冷却材温度ゆらぎ現象の解析的評価手法の開発(VI)、温度ゆらぎ低減化方策の解析的検討 PNC N9410 94-205(1994)
- 3) 村松 壽晴、二ノ方 壽、冷却材温度ゆらぎ現象の解析的評価手法の開発(I)、温度ゆらぎ強度評価手法の開発 PNC N9410 90-029(1990)

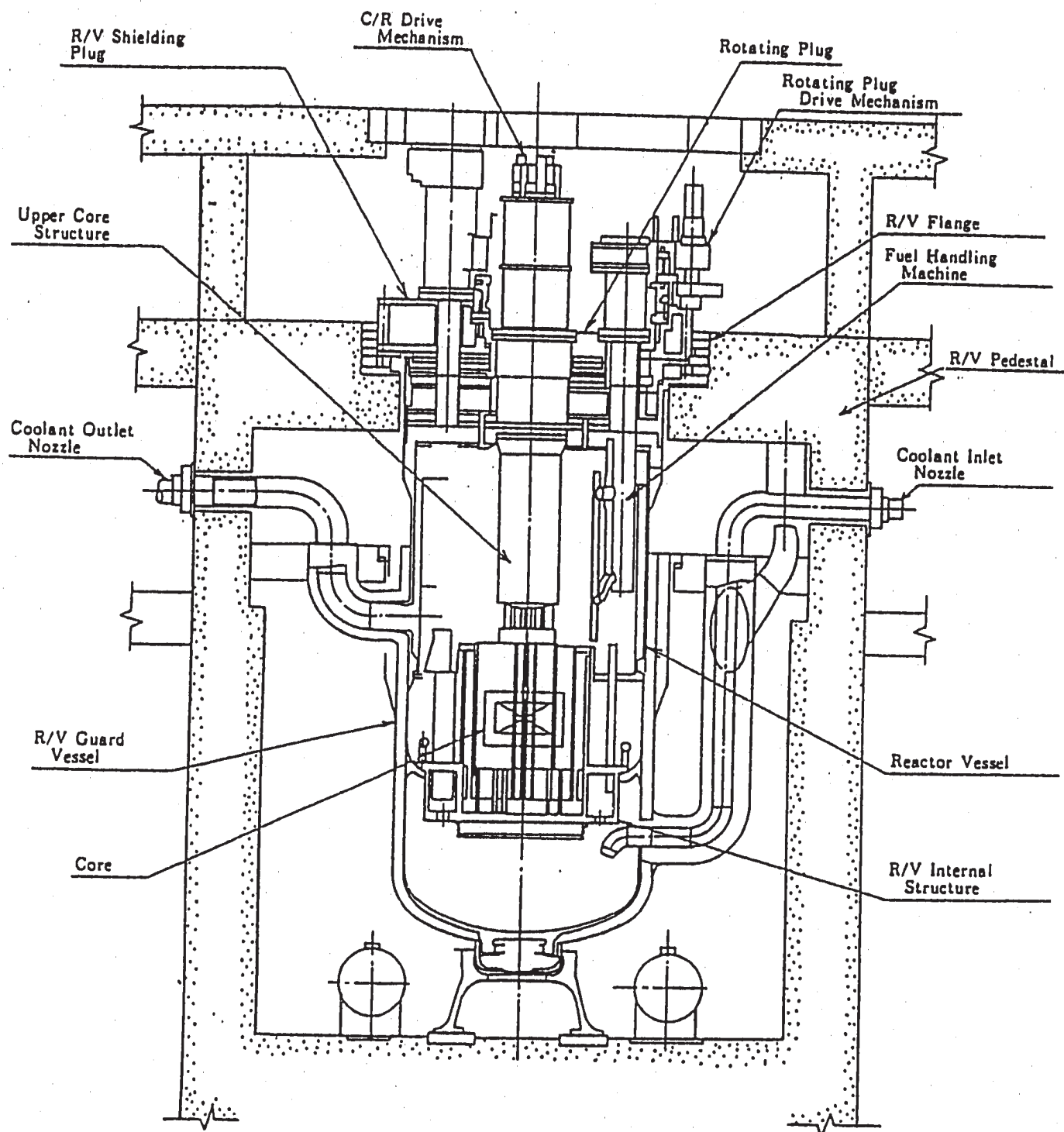
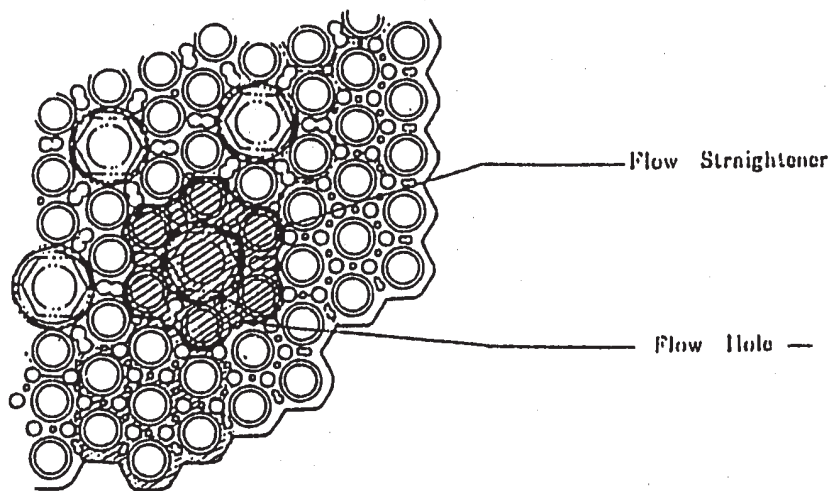
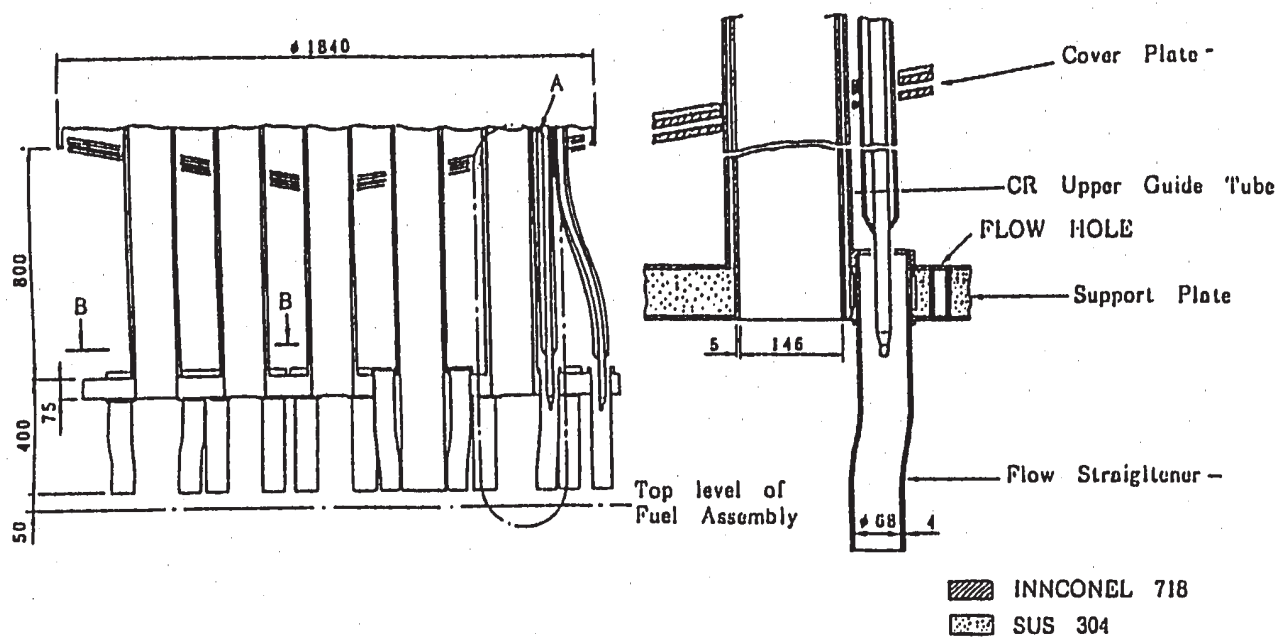


Fig. 2.1 Cut-View of the MONJU Reactor



View from B

Fig. 2. 2 Structure of the MONJU Upper Core Structure

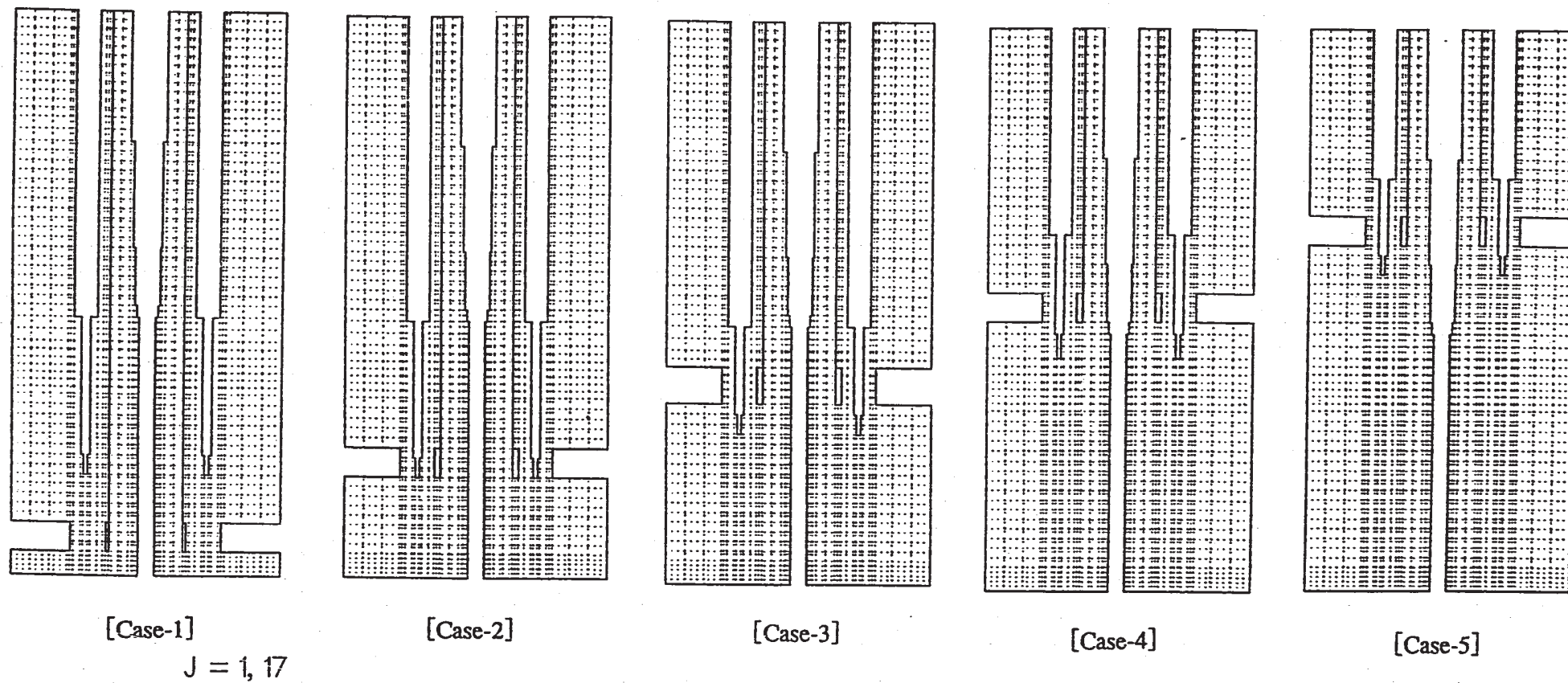


Fig.3.1 Mesh Arrangement for the AQUA Calculations (1/3)

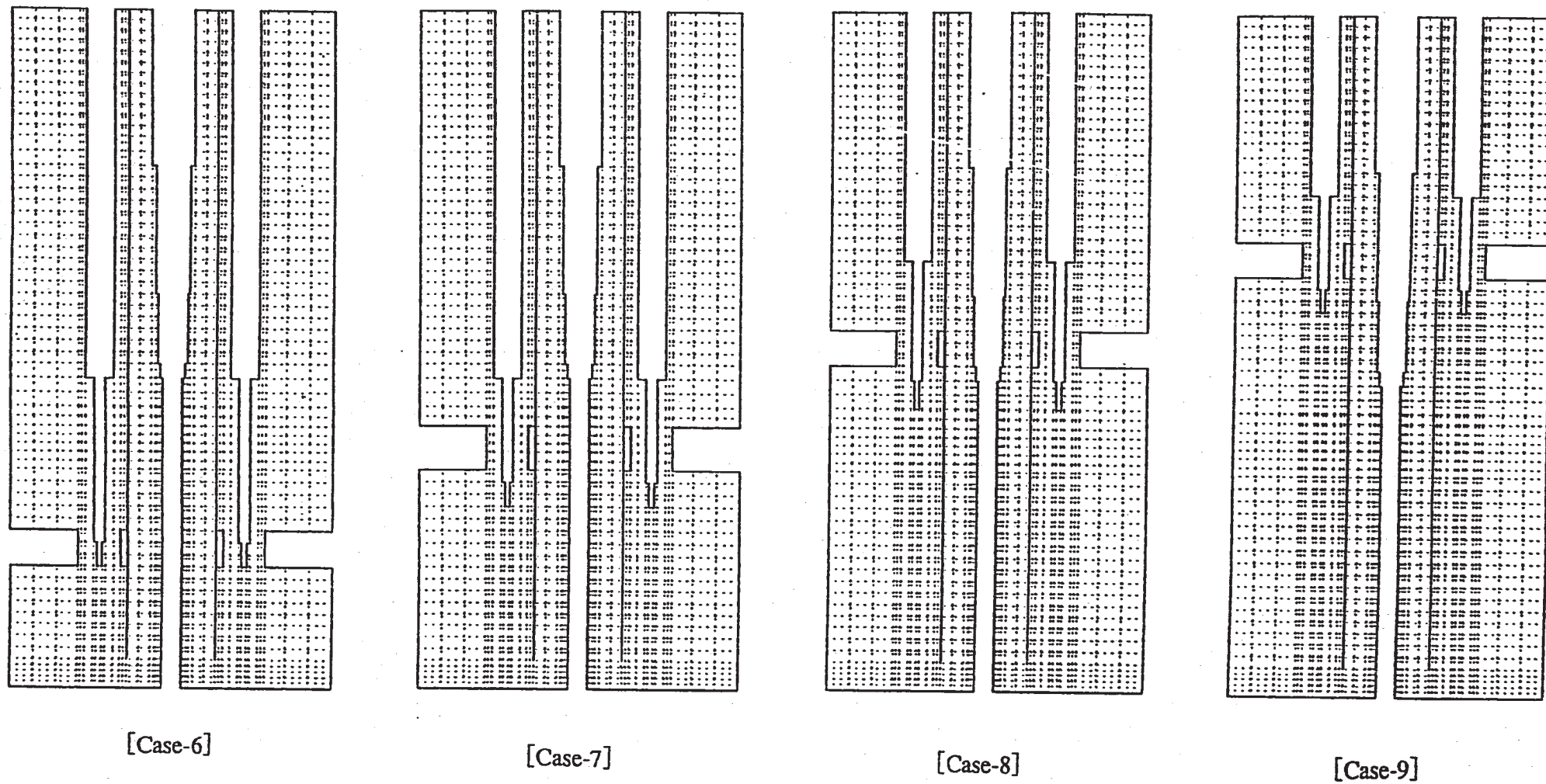
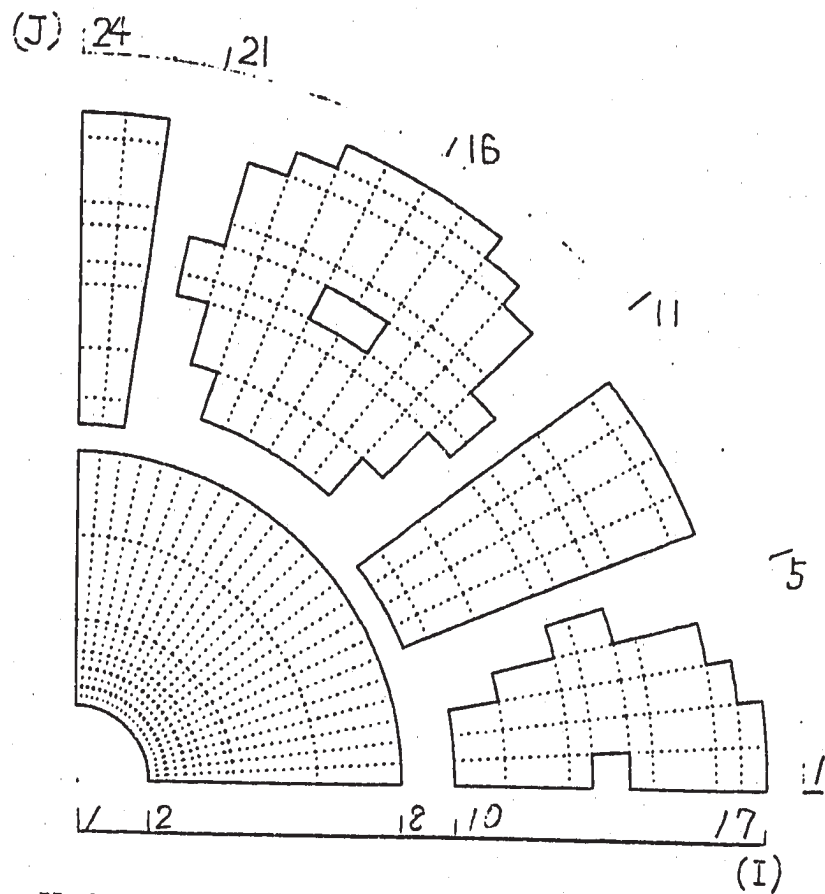
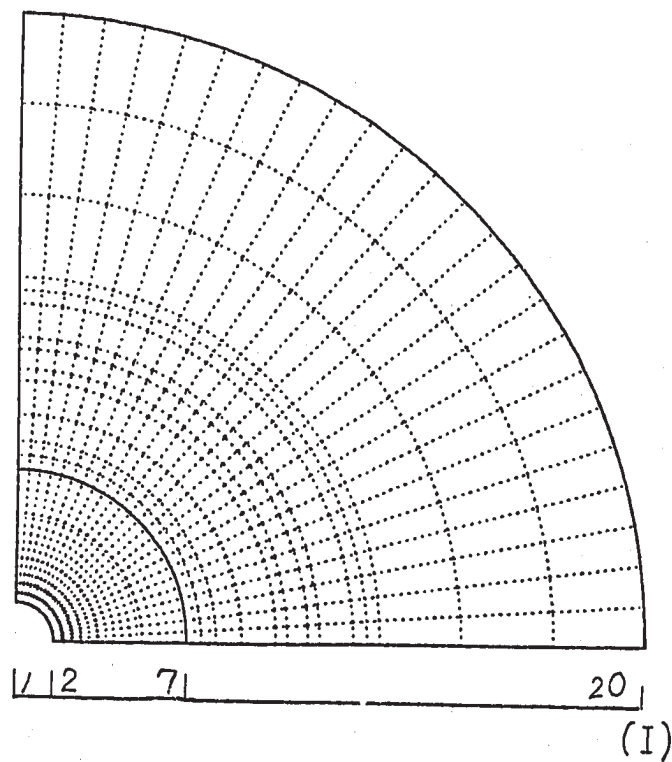

 $J = 1, 17$

Fig.3.1 Mesh Arrangement for the AQUA Calculations (2/3)



K=25 of the Case - 7



K=10 of the Case - 7

Fig.3.1 Mesh Arrangement for the AQUA Calculations (3/3)

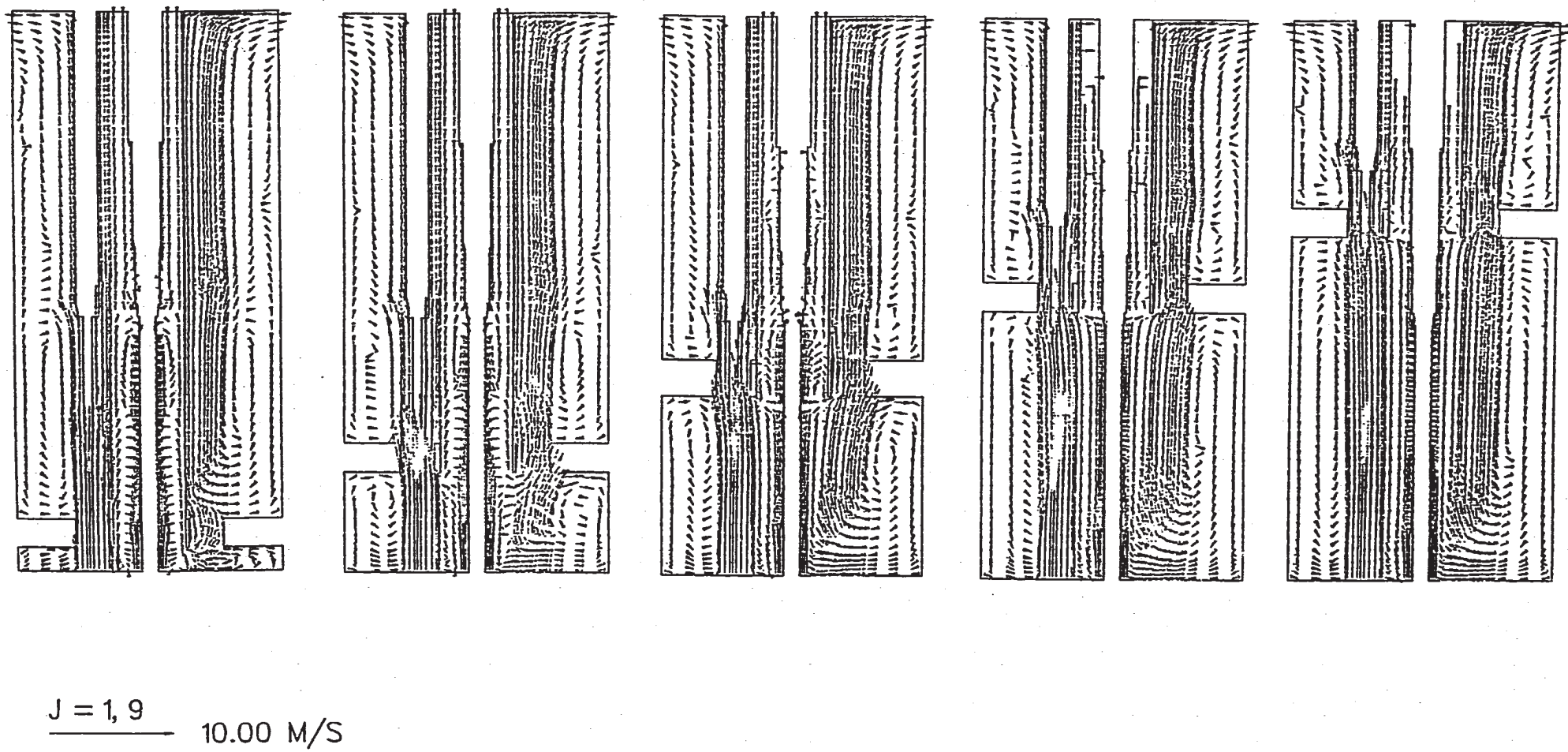


Fig.3.2 Comparison of Velocity Vector Fields for Vertical Planes (1/9)

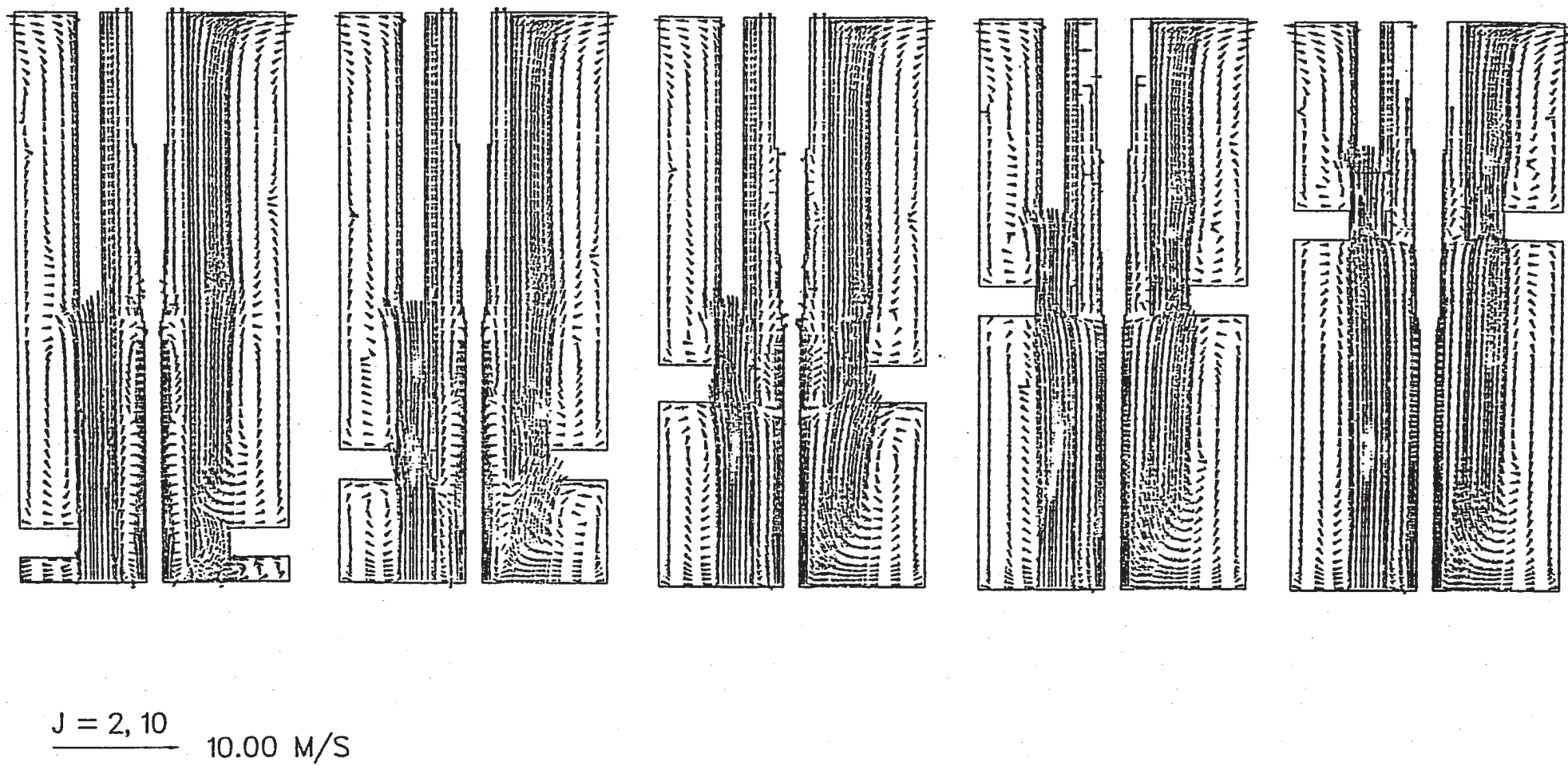
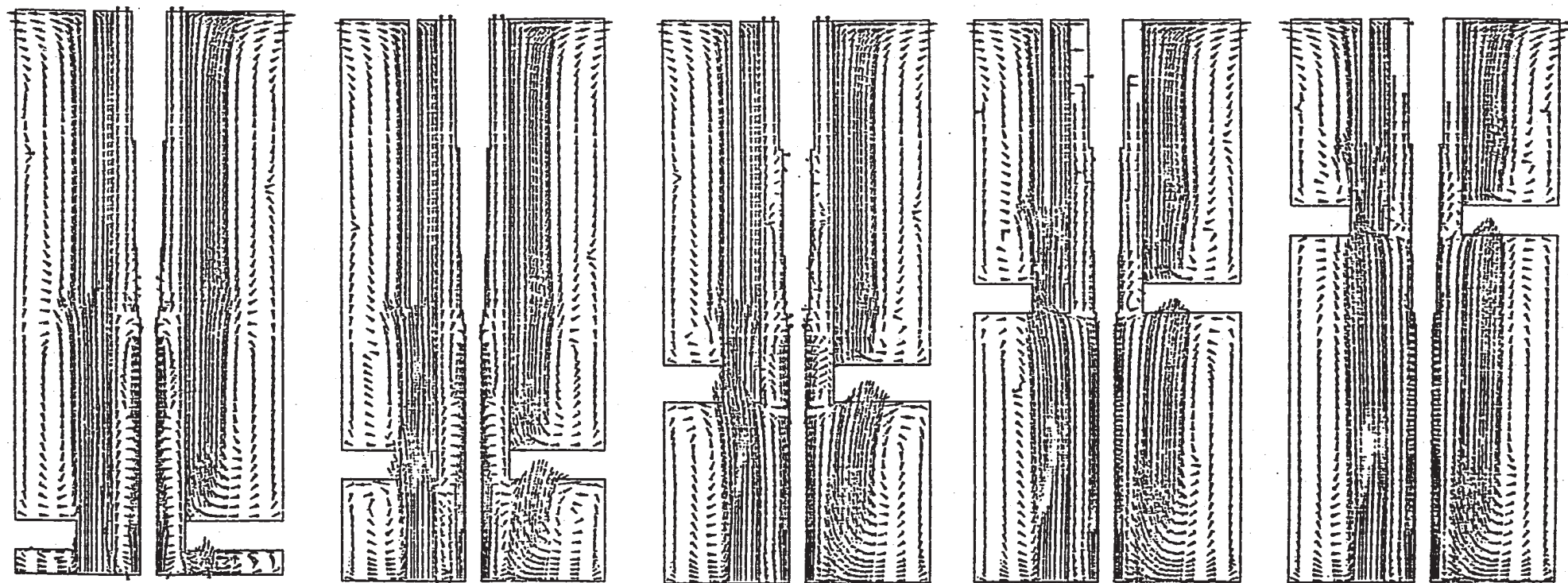
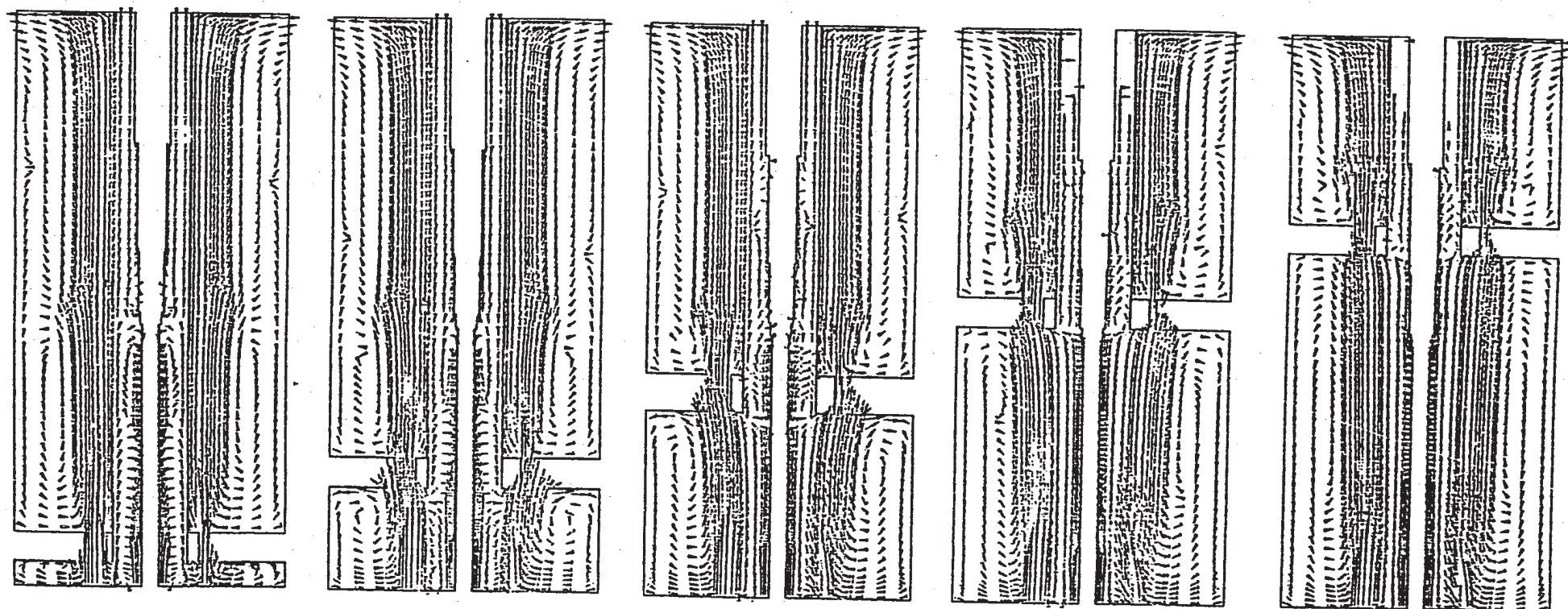


Fig.3.2 Comparison of Velocity Vector Fields for Vertical Planes (2/9)



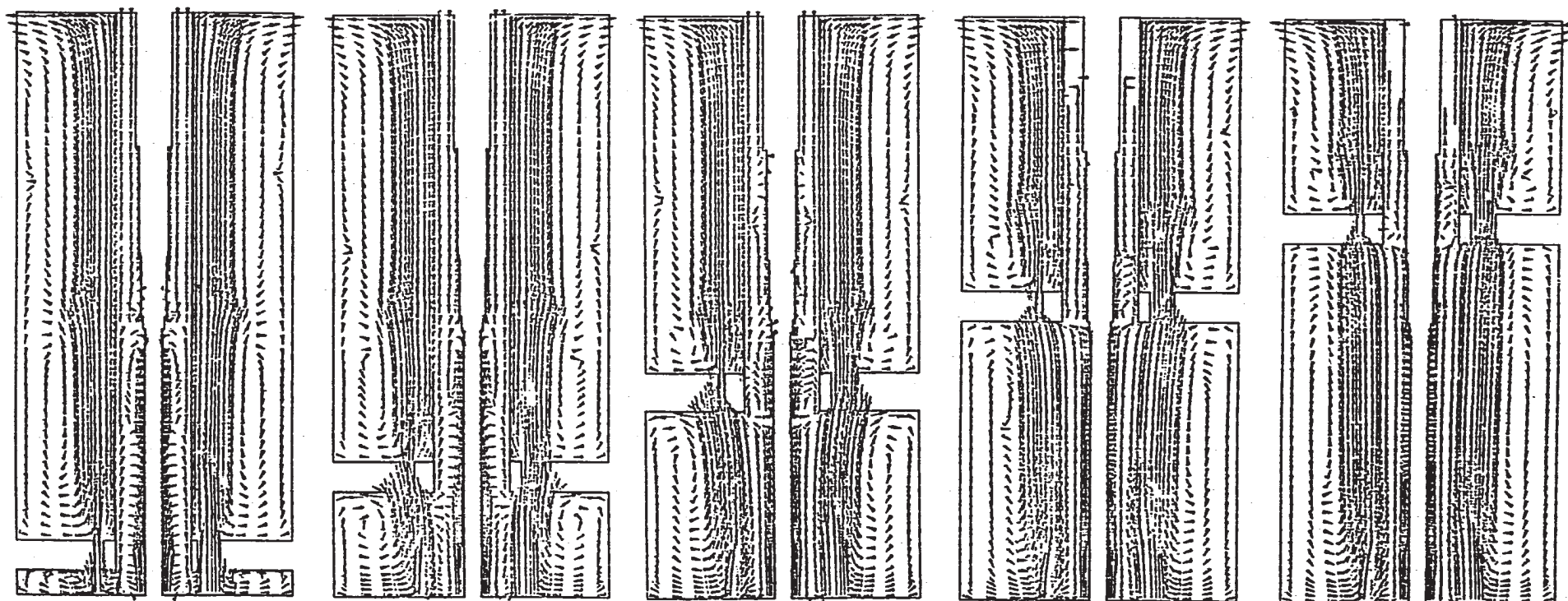
$J = 3, 11$
10.00 M/S

Fig.3.2 Comparison of Velocity Vector Fields for Vertical Planes (3/9)



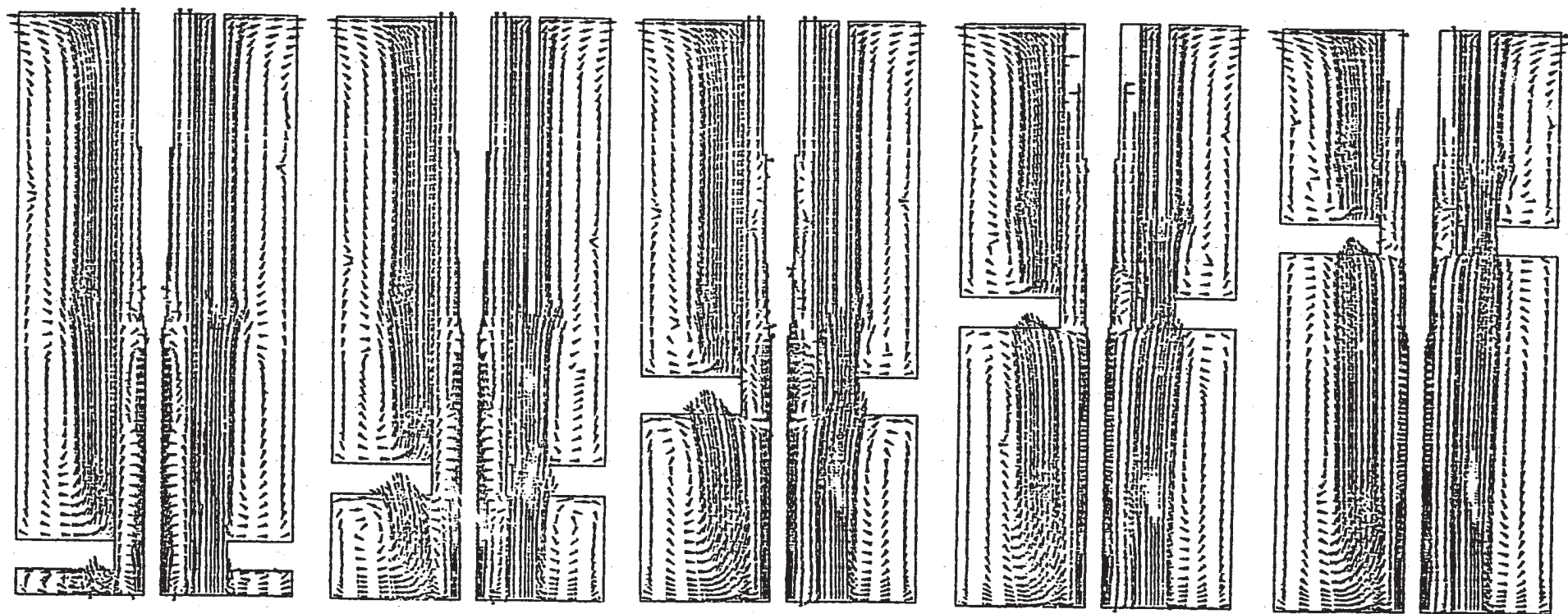
J = 4, 12
10.00 M/S

Fig.3.2 Comparison of Velocity Vector Fields for Vertical Planes (4/9)



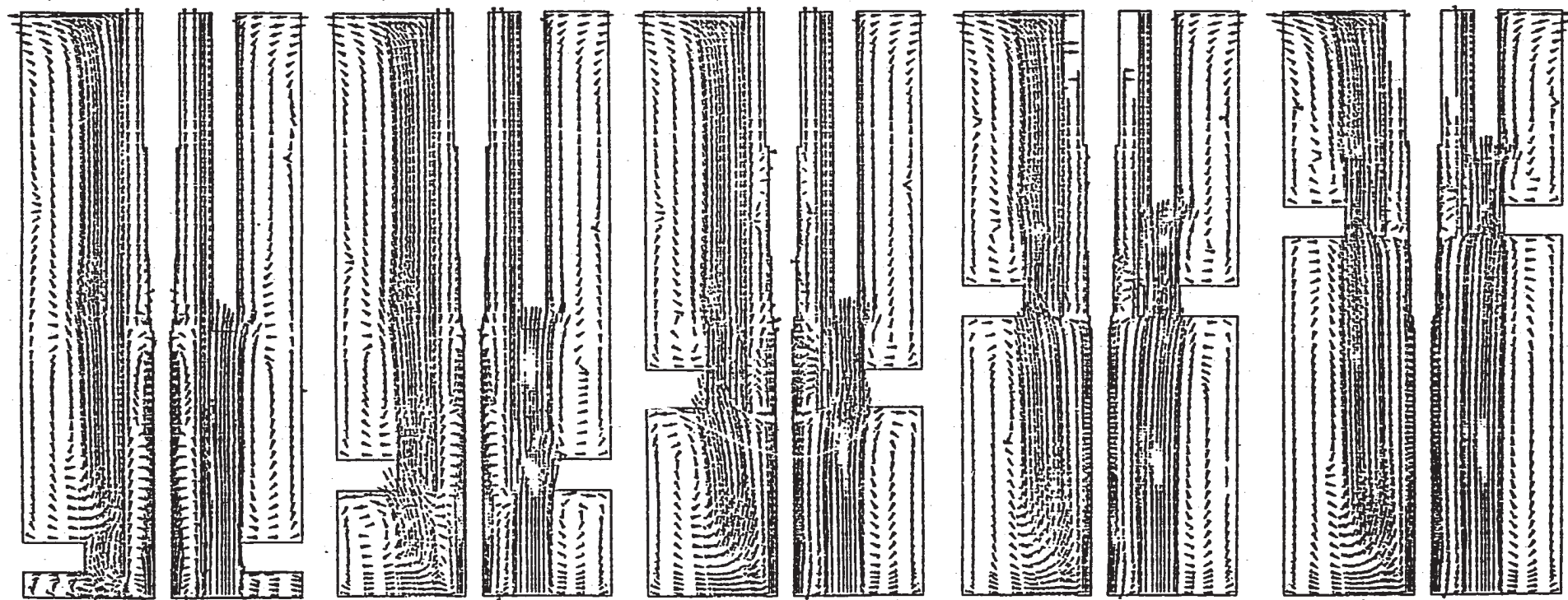
$J = 5, 13$
10.00 M/S

Fig.3.2 Comparison of Velocity Vector Fields for Vertical Planes (5/9)



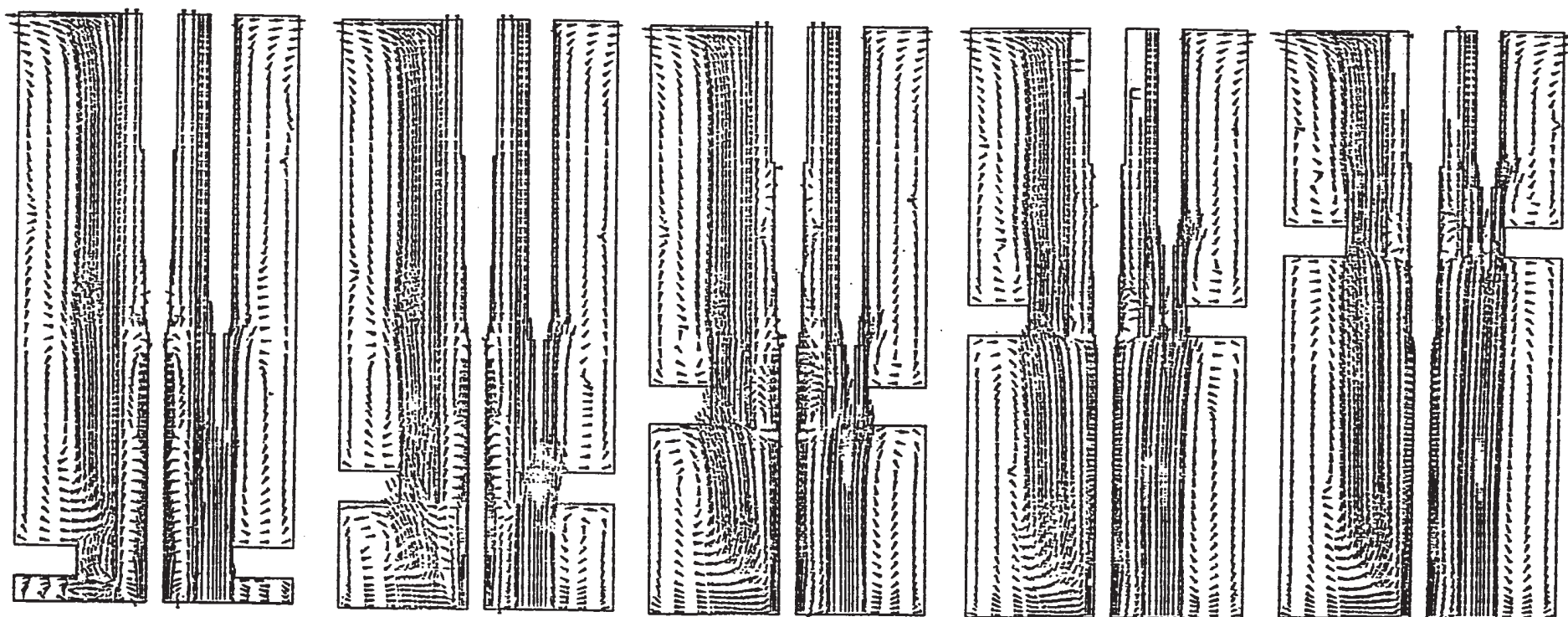
$J = 6, 14$
10.00 M/S

Fig.3.2 Comparison of Velocity Vector Fields for Vertical Planes (6/9)



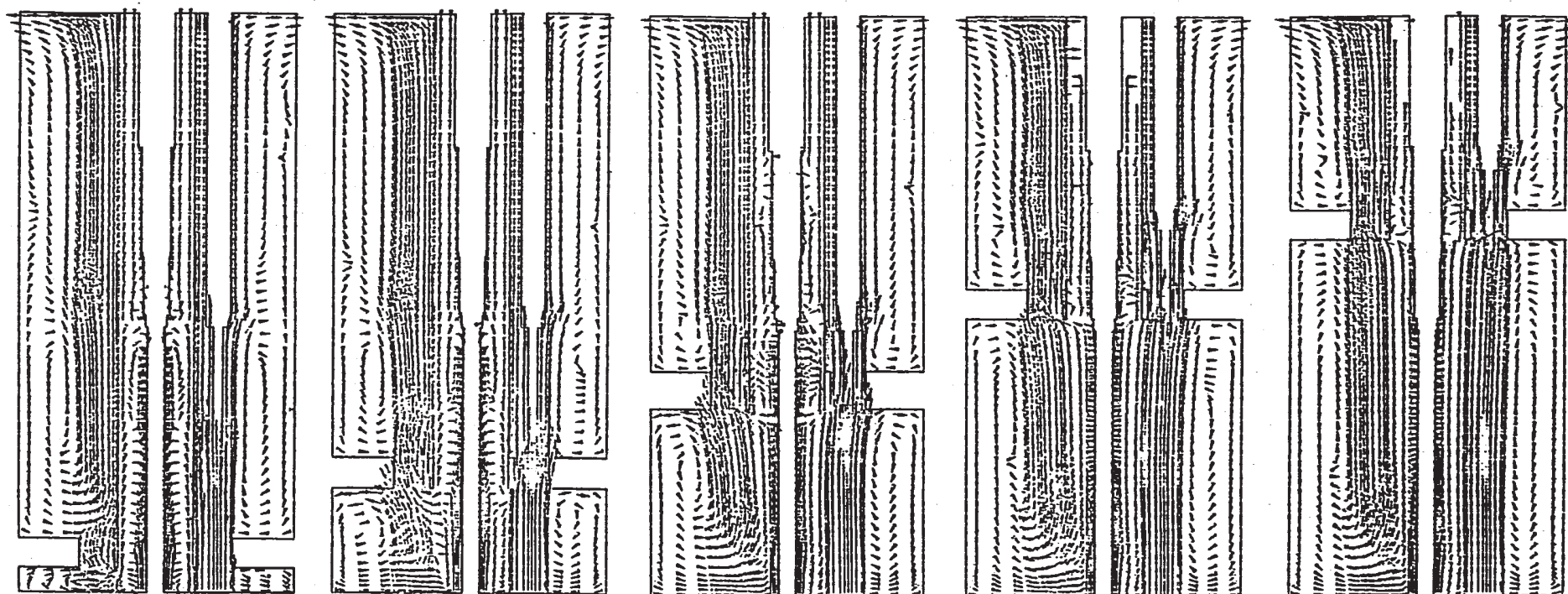
$J = 7, 15$ 10.00 M/S

Fig.3.2 Comparison of Velocity Vector Fields for Vertical Planes (7/9)



$J = 8, 16$
10.00 M/S

Fig.3.2 Comparison of Velocity Vector Fields for Vertical Planes (8/9)



J = 9, 17 10.00 M/S

Fig.3.2 Comparison of Velocity Vector Fields for Vertical Planes (9/9)

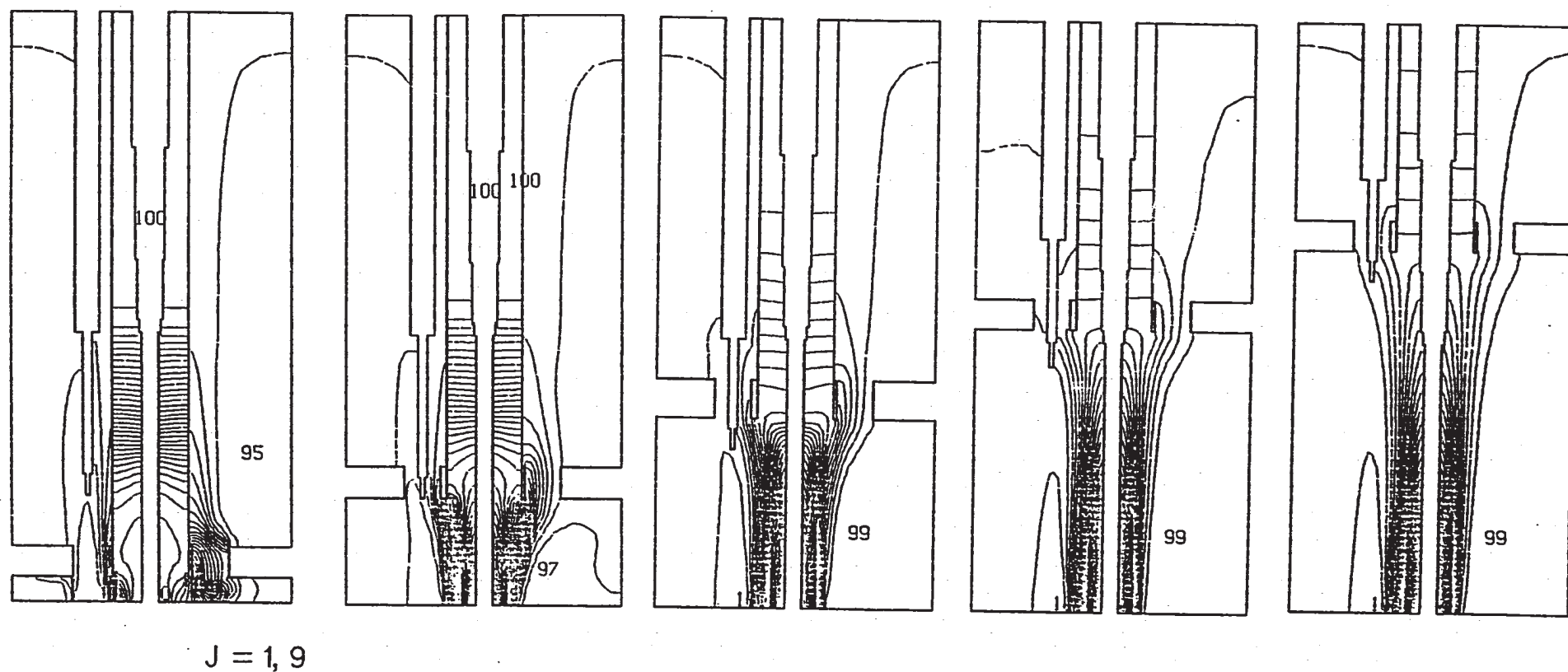


Fig.3.3 Comparison of Mean Temperature Fields for Vertical Planes (1/9)

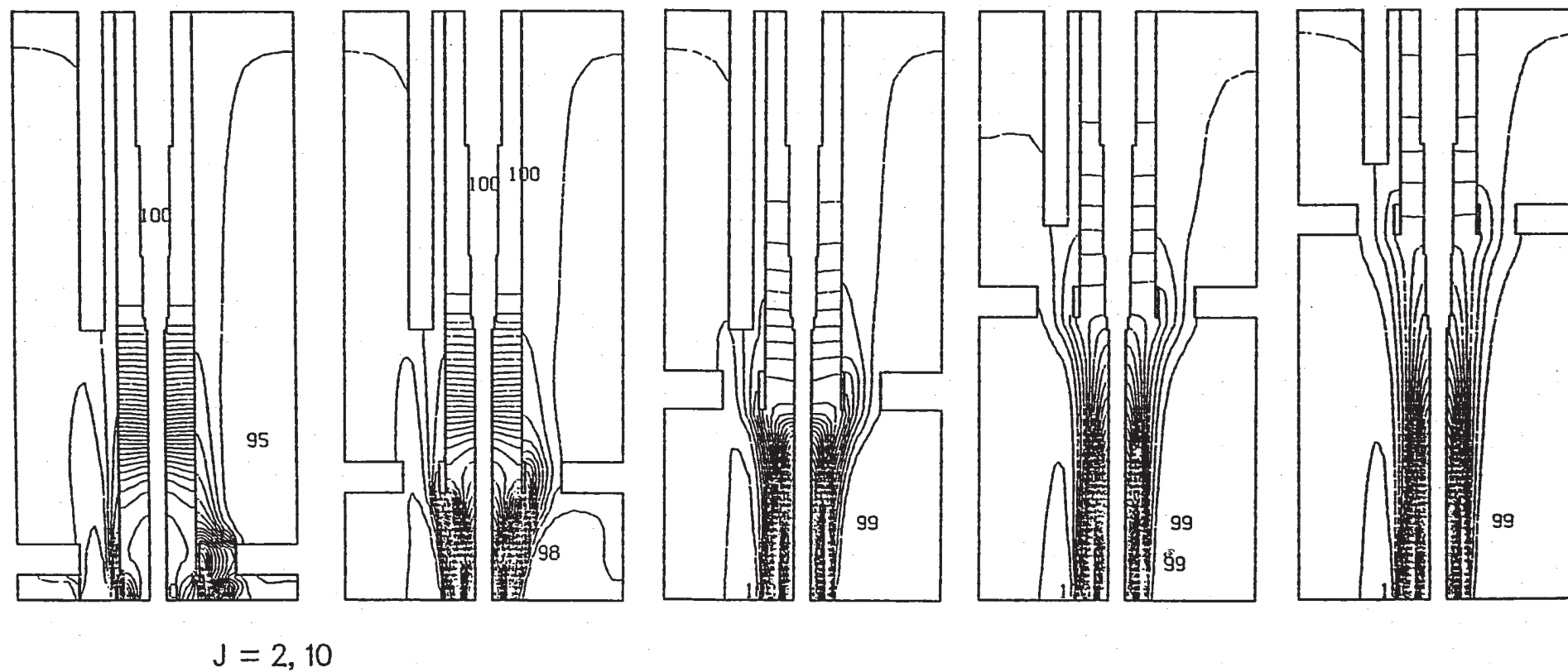


Fig.3.3 Comparison of Mean Temperature Fields for Vertical Planes (2/9)

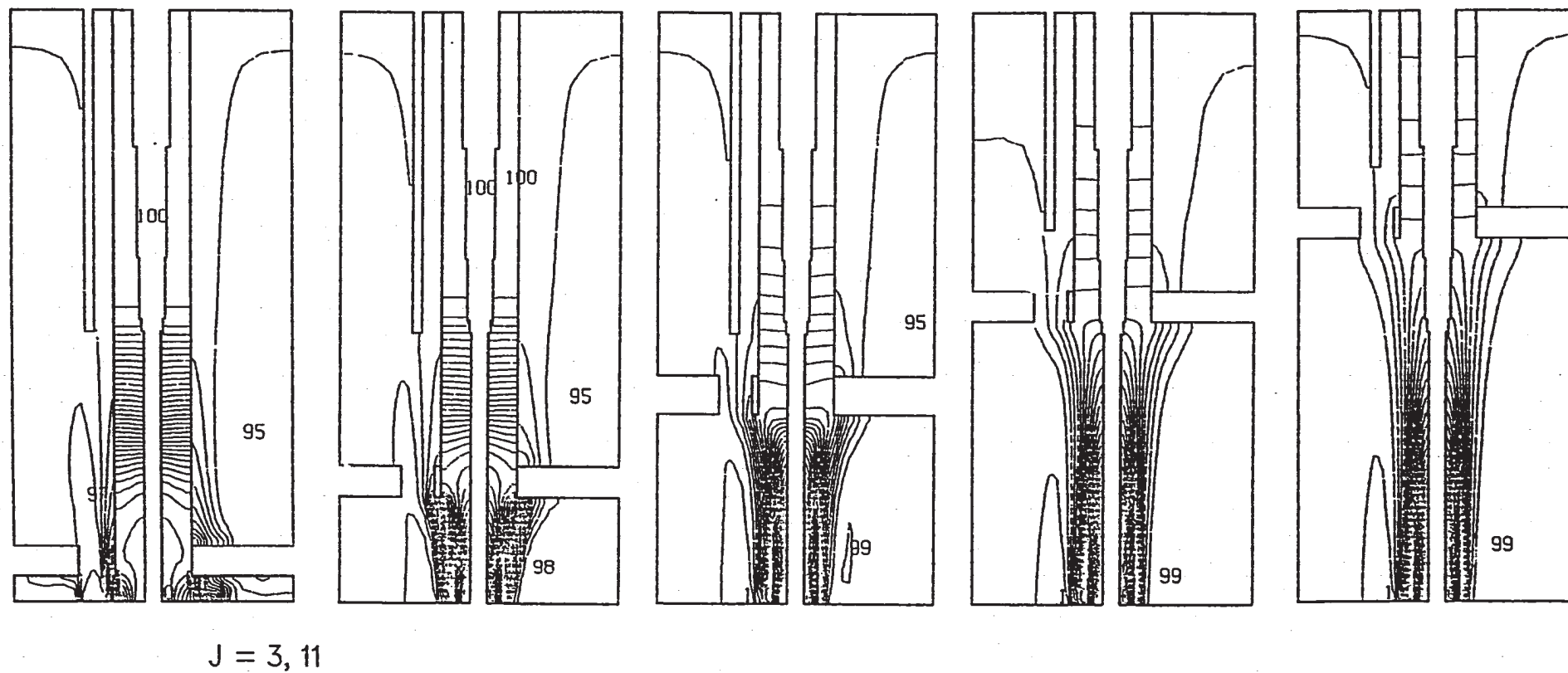


Fig.3.3 Comparison of Mean Temperature Fields for Vertical Planes (3/9)

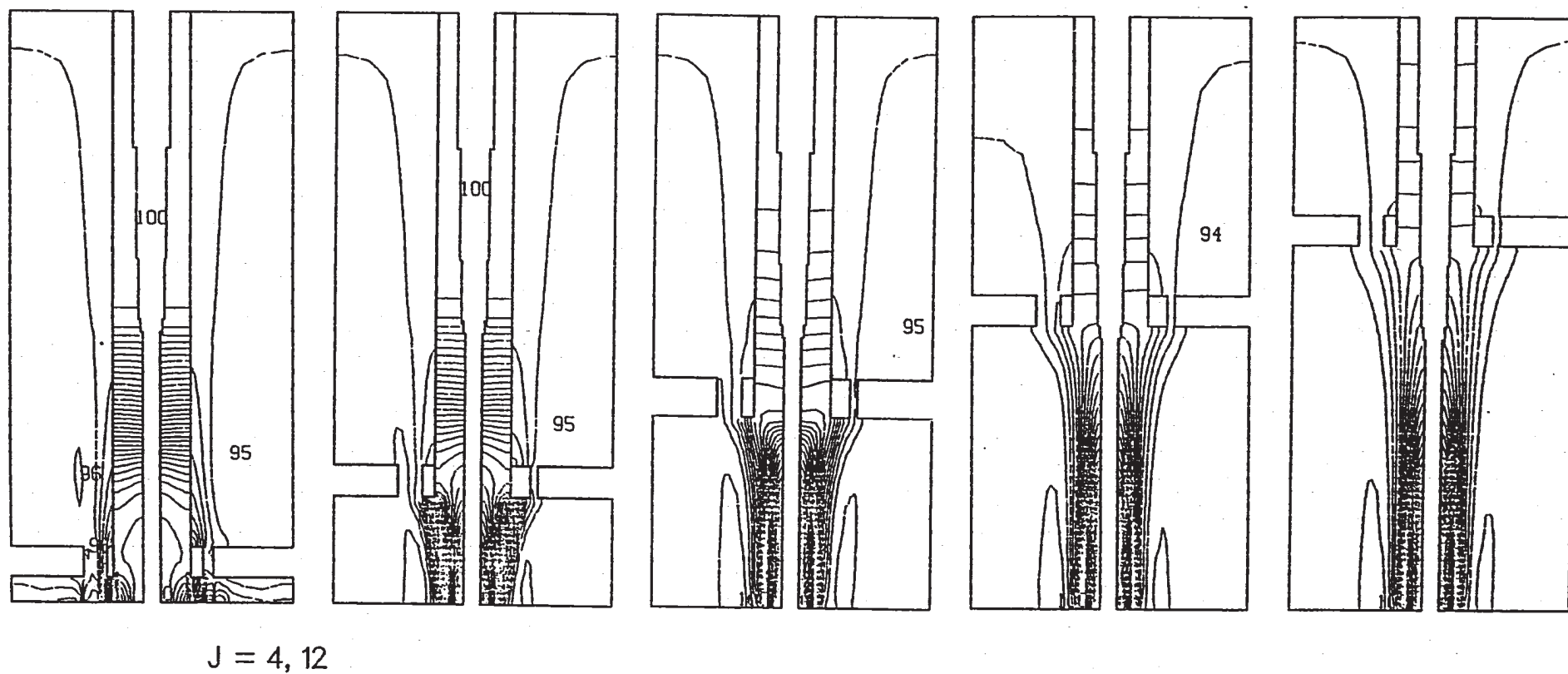


Fig.3.3 Comparison of Mean Temperature Fields for Vertical Planes (4/9)

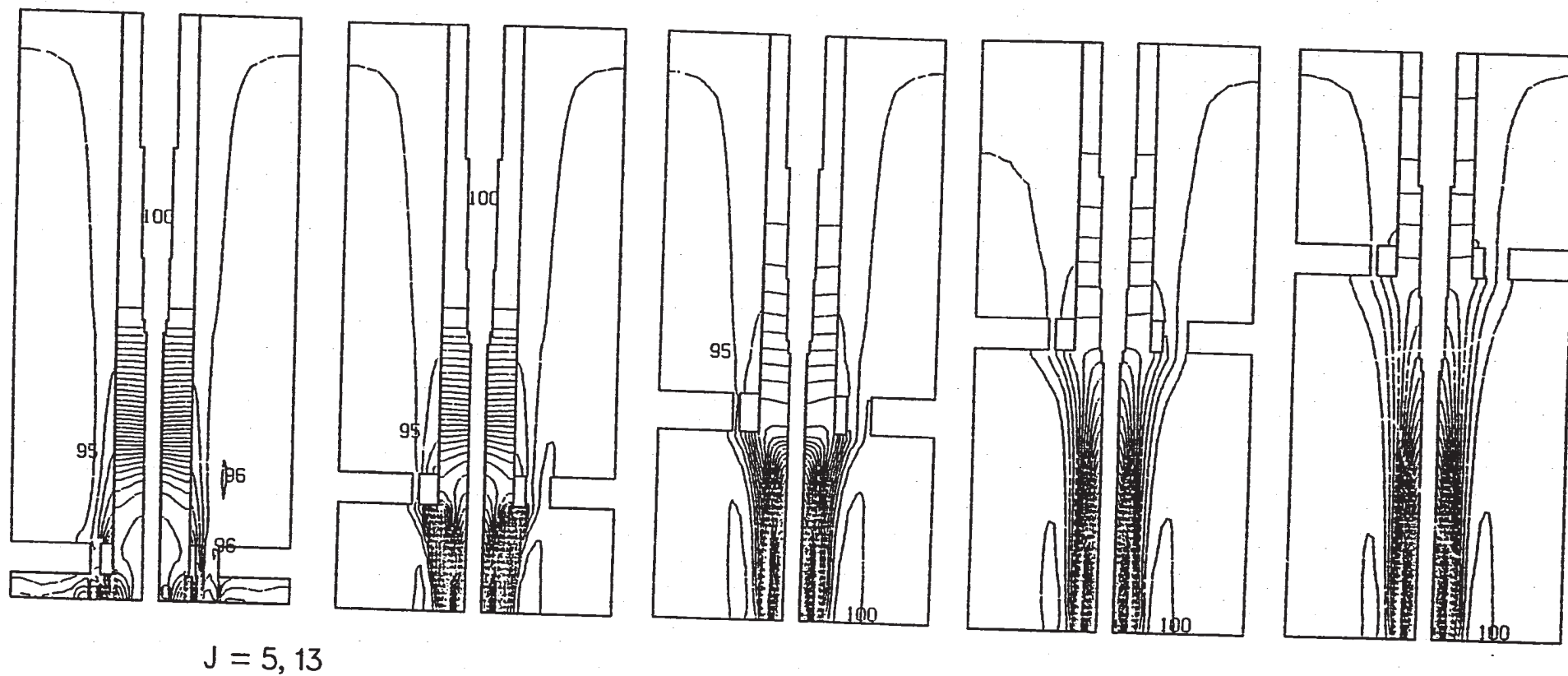
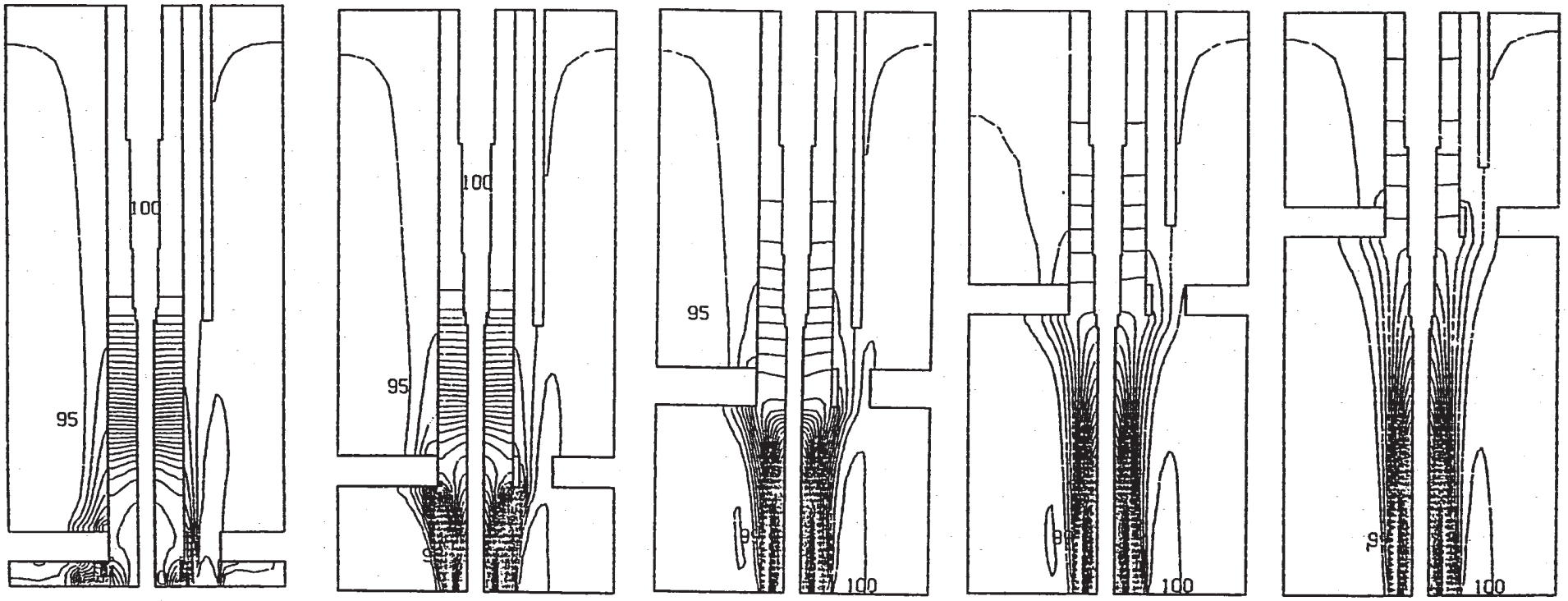


Fig.3.3 Comparison of Mean Temperature Fields for Vertical Planes (5/9)



J = 6, 14

Fig.3.3 Comparison of Mean Temperature Fields for Vertical Planes (6/9)

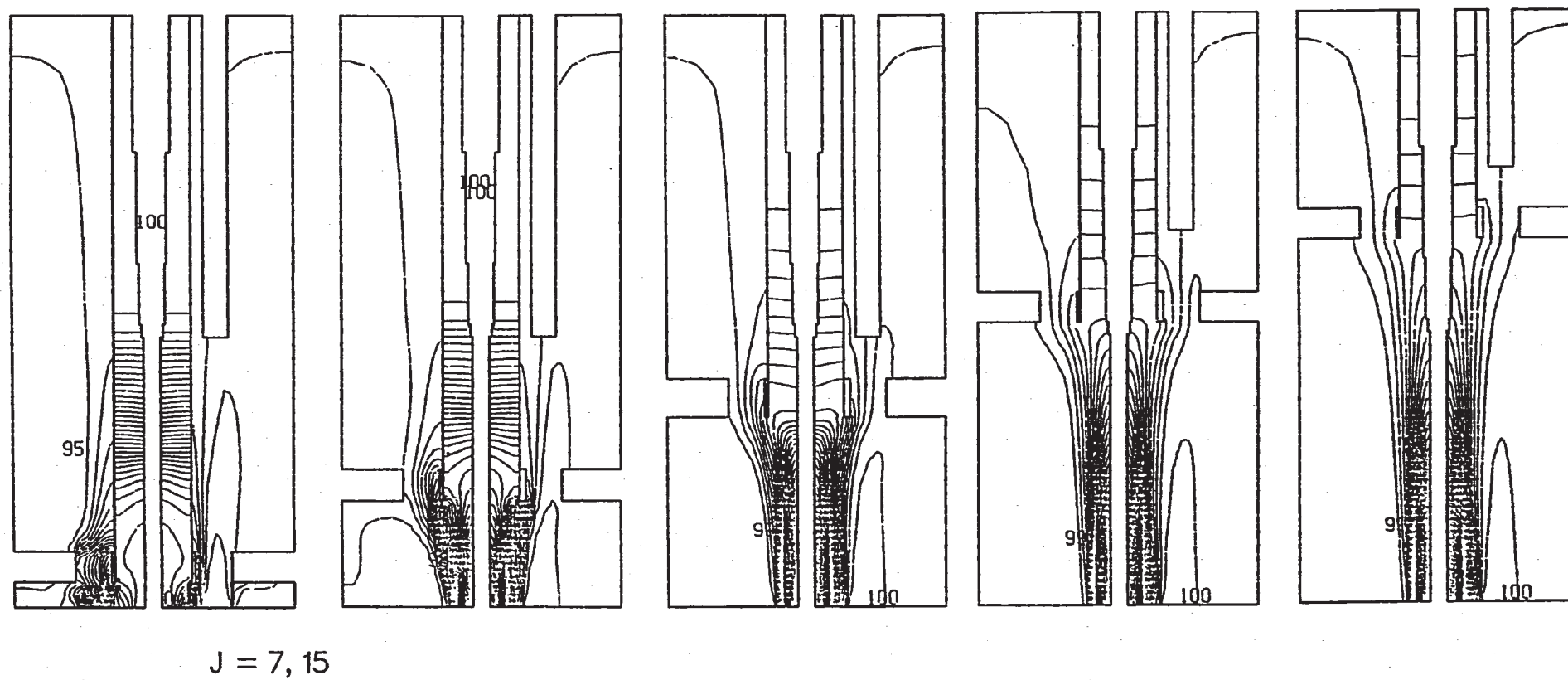


Fig.3.3 Comparison of Mean Temperature Fields for Vertical Planes (7/9)

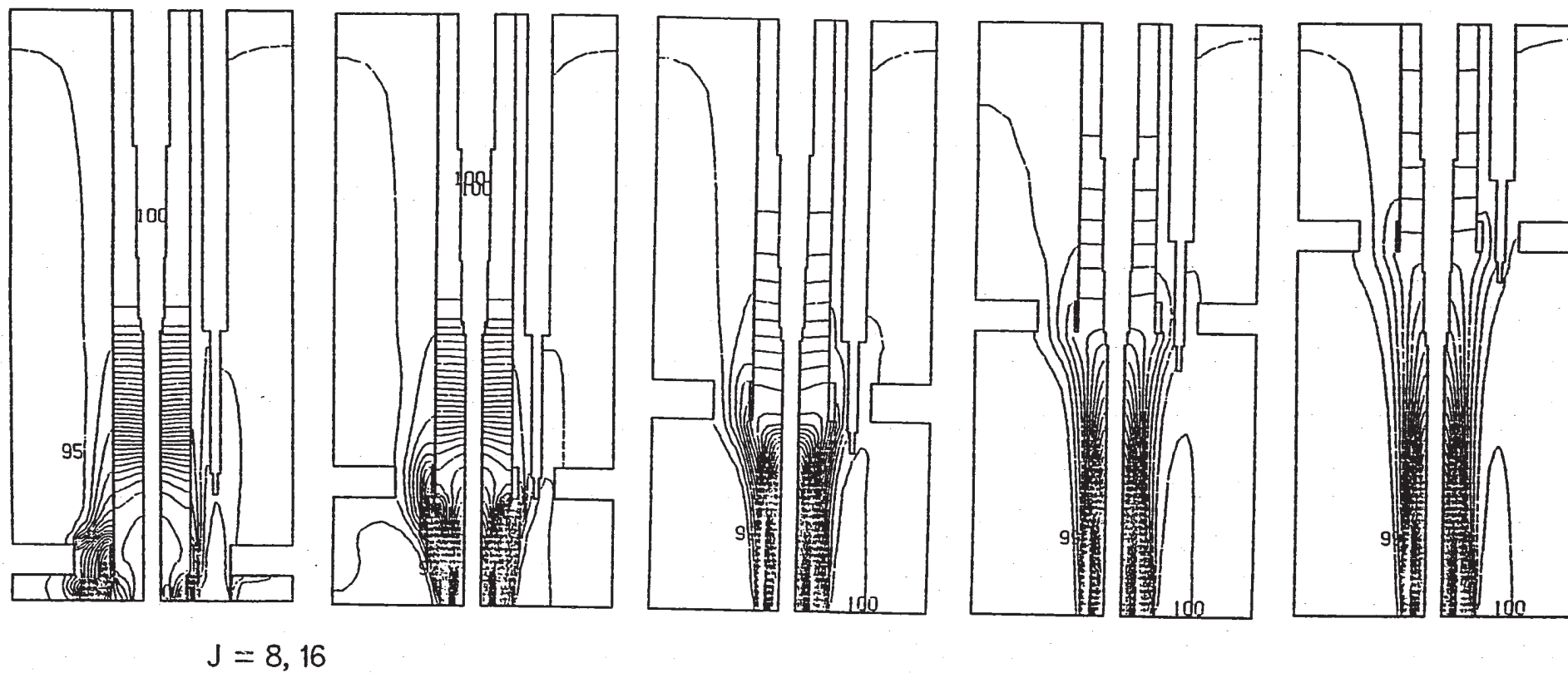


Fig.3.3 Comparison of Mean Temperature Fields for Vertical Planes (8/9)

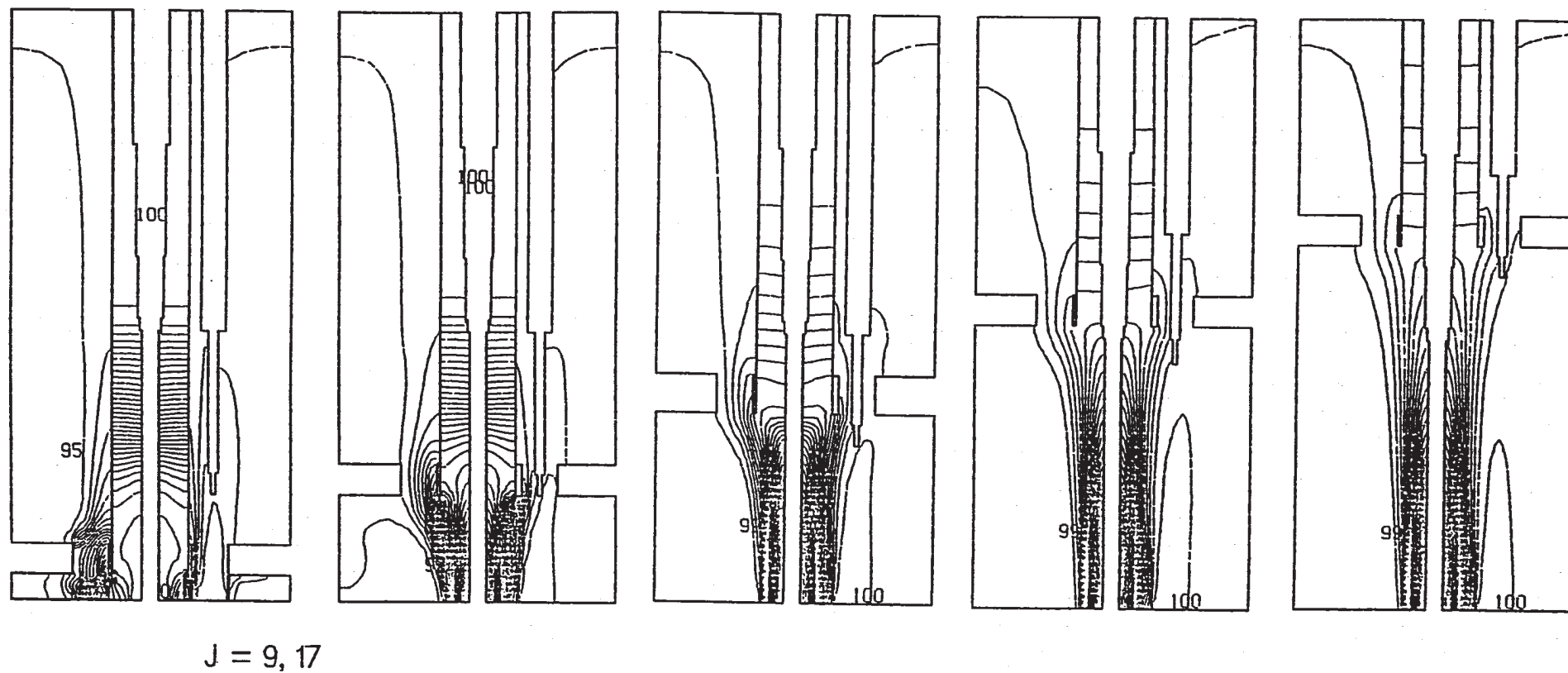
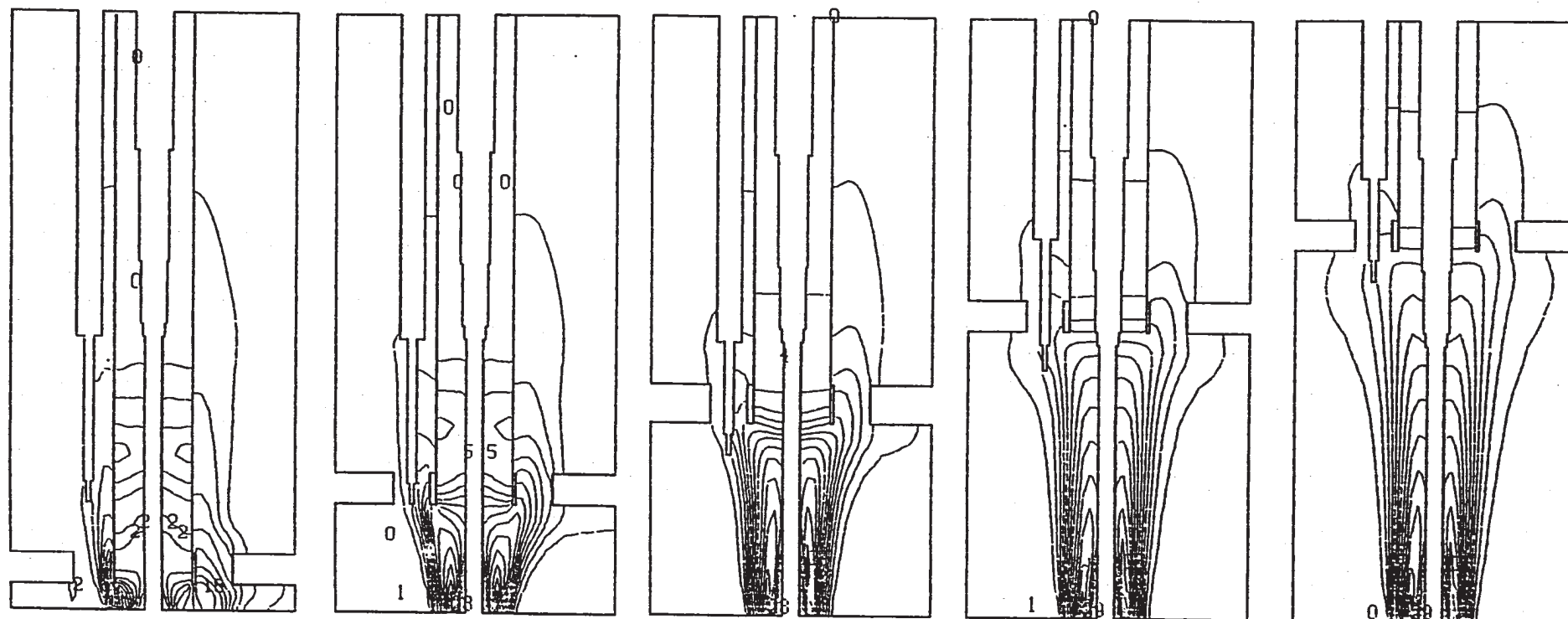
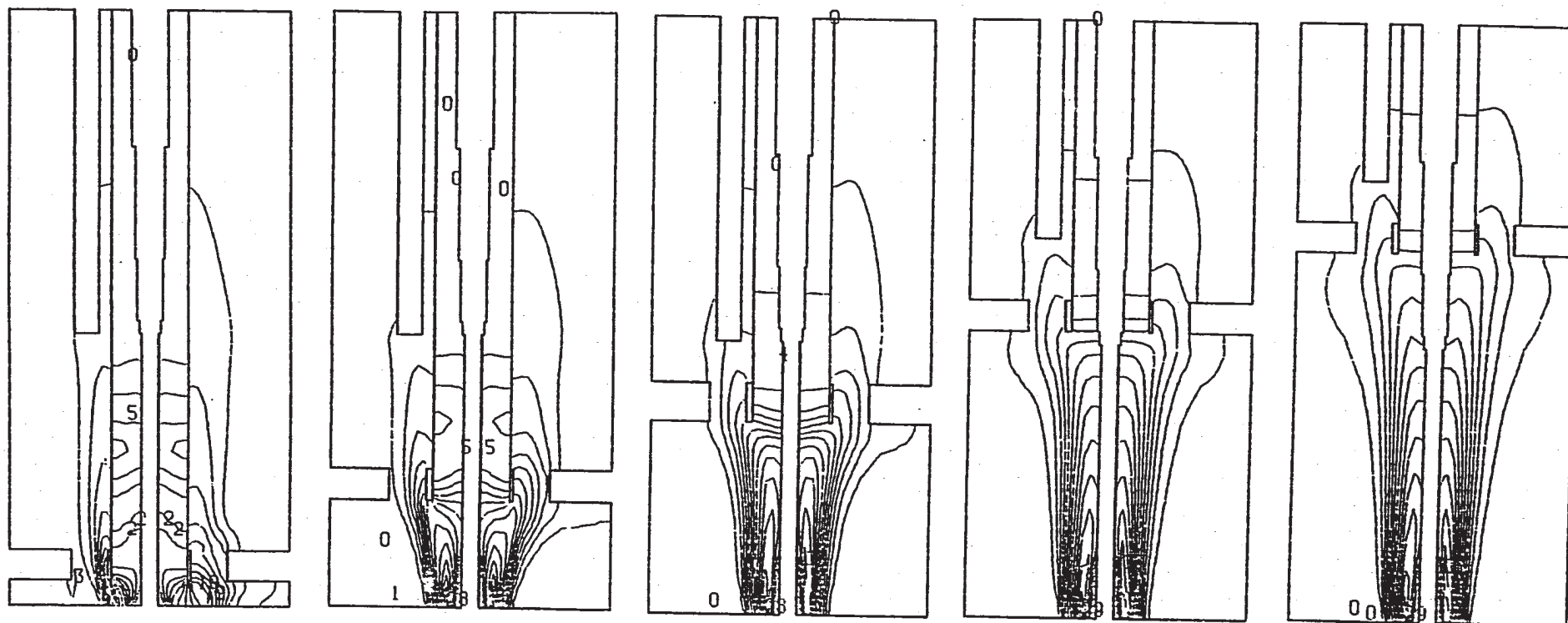


Fig.3.3 Comparison of Mean Temperature Fields for Vertical Planes (9/9)



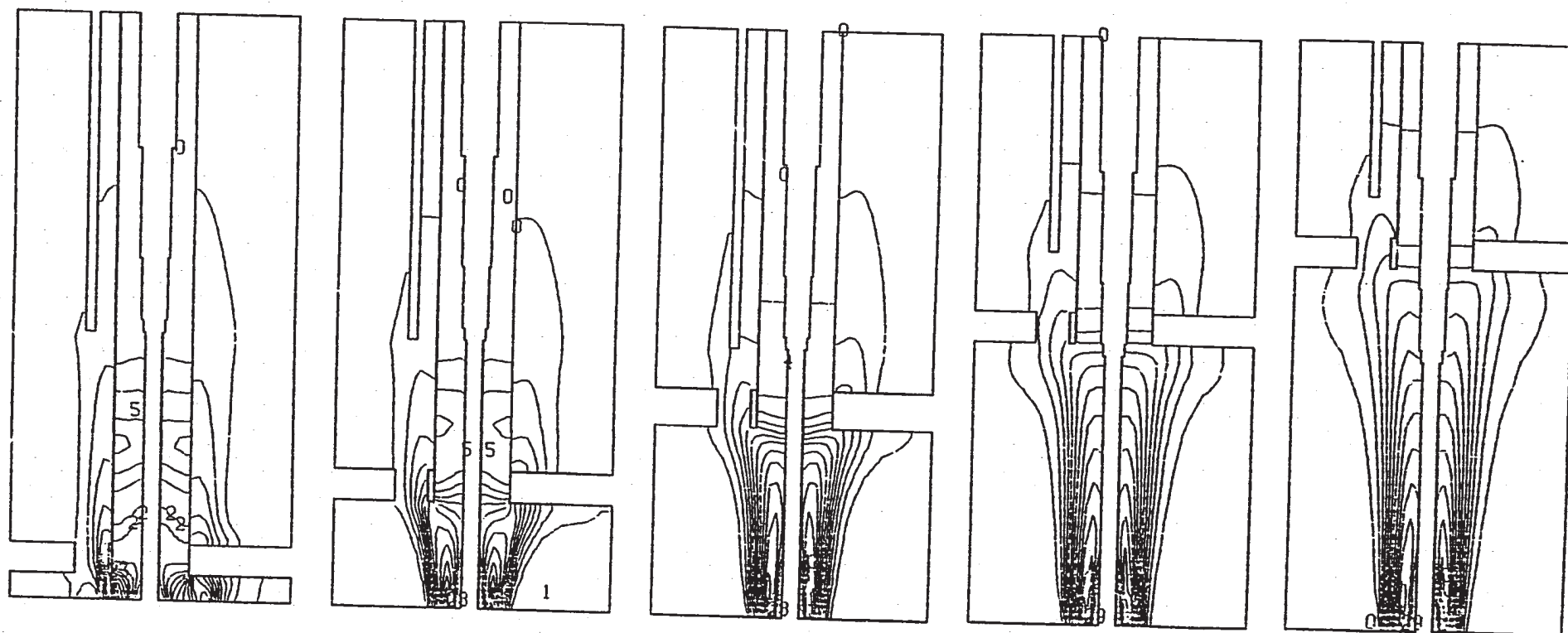
$J = 1, 9$

Fig.3.4 Comparison of Temperature Fluctuation Fields for Vertical Planes (1/9)



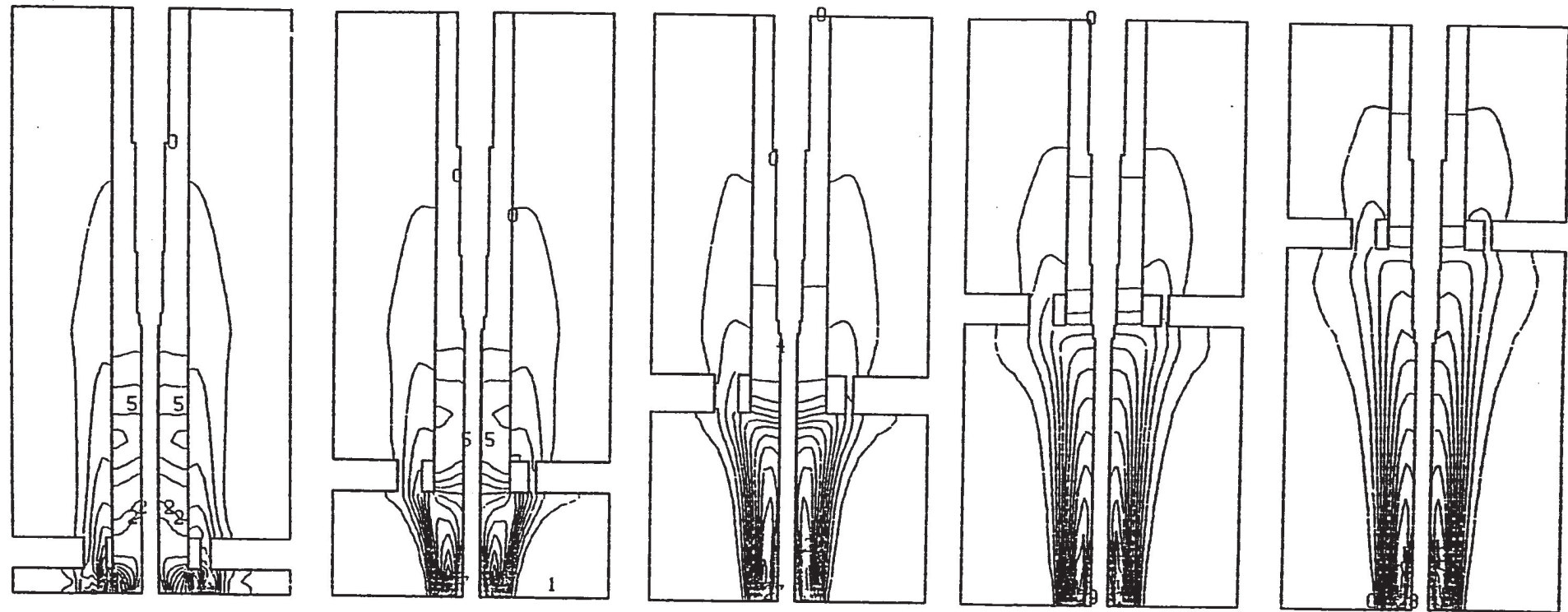
$J = 2, 10$

Fig.3.4 Comparison of Temperature Fluctuation Fields for Vertical Planes (2/9)



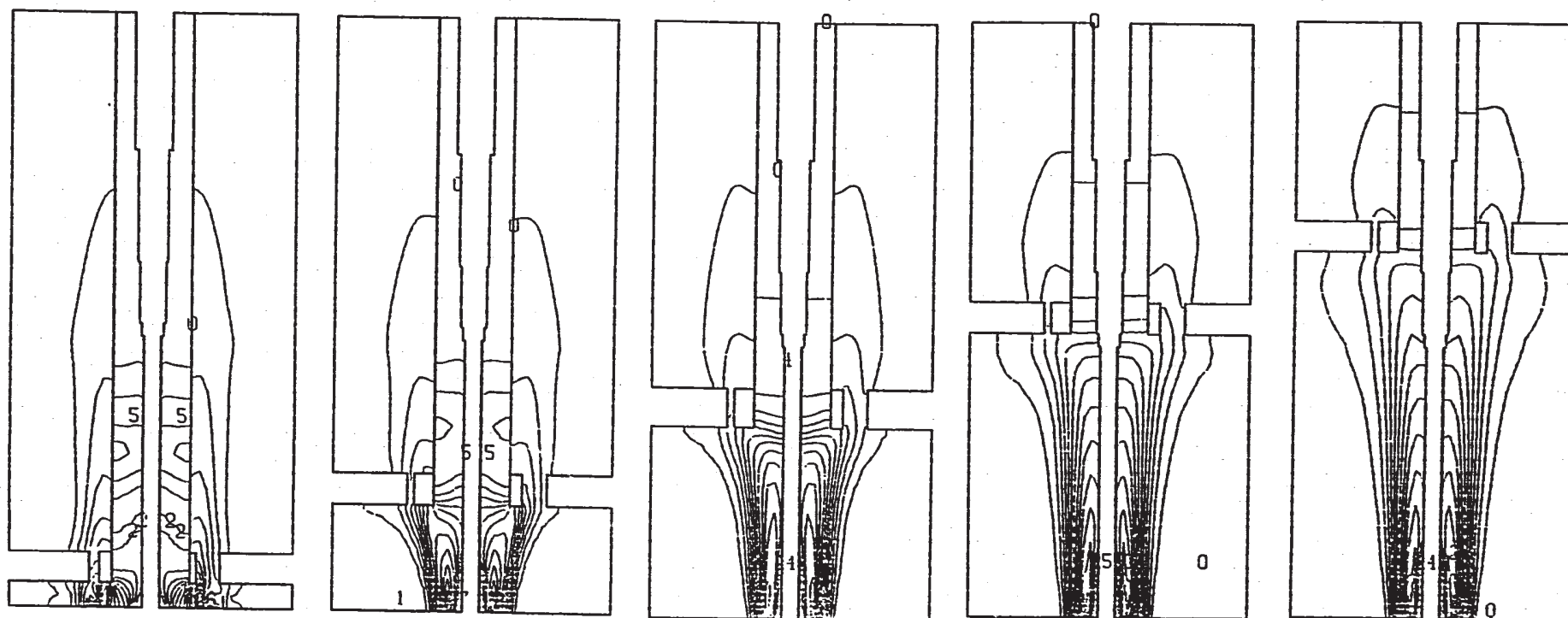
$J = 3, 11$

Fig.3.4 Comparison of Temperature Fluctuation Fields for Vertical Planes (3/9)



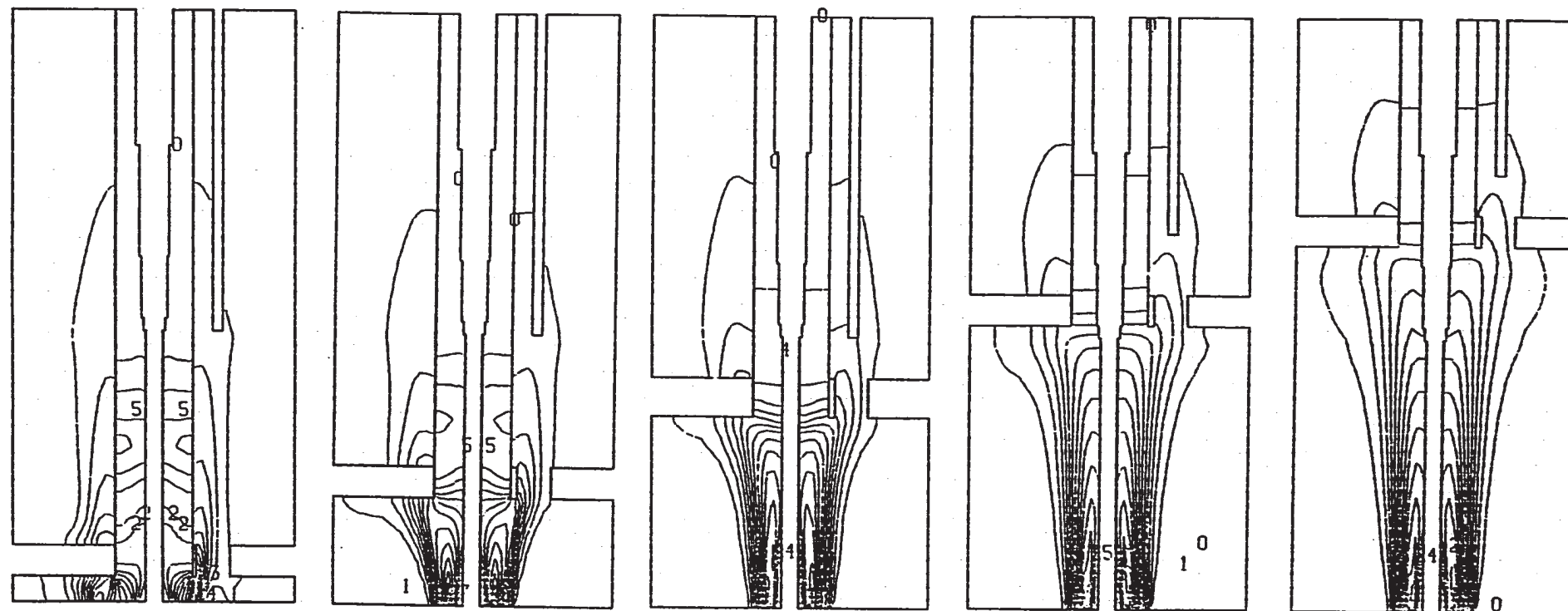
$J = 4, 12$

Fig.3.4 Comparison of Temperature Fluctuation Fields for Vertical Planes (4/9)



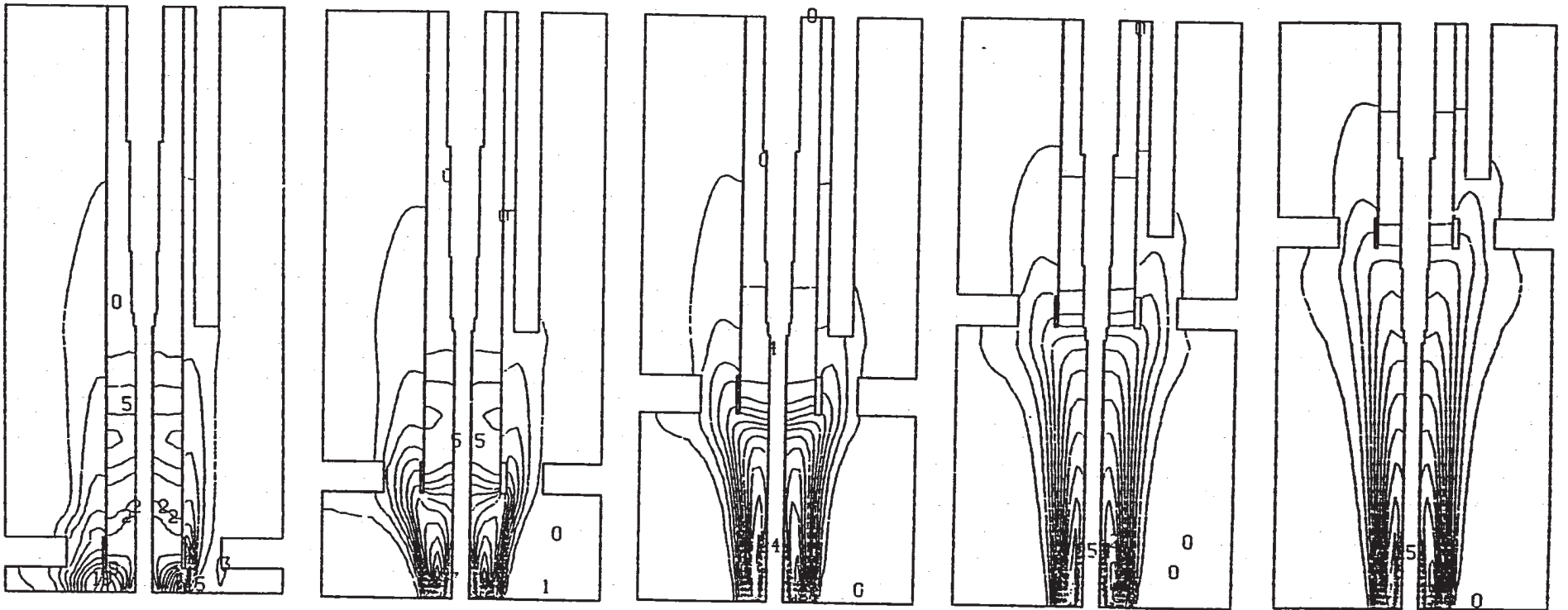
$J = 5, 13$

Fig.3.4 Comparison of Temperature Fluctuation Fields for Vertical Planes (5/9)



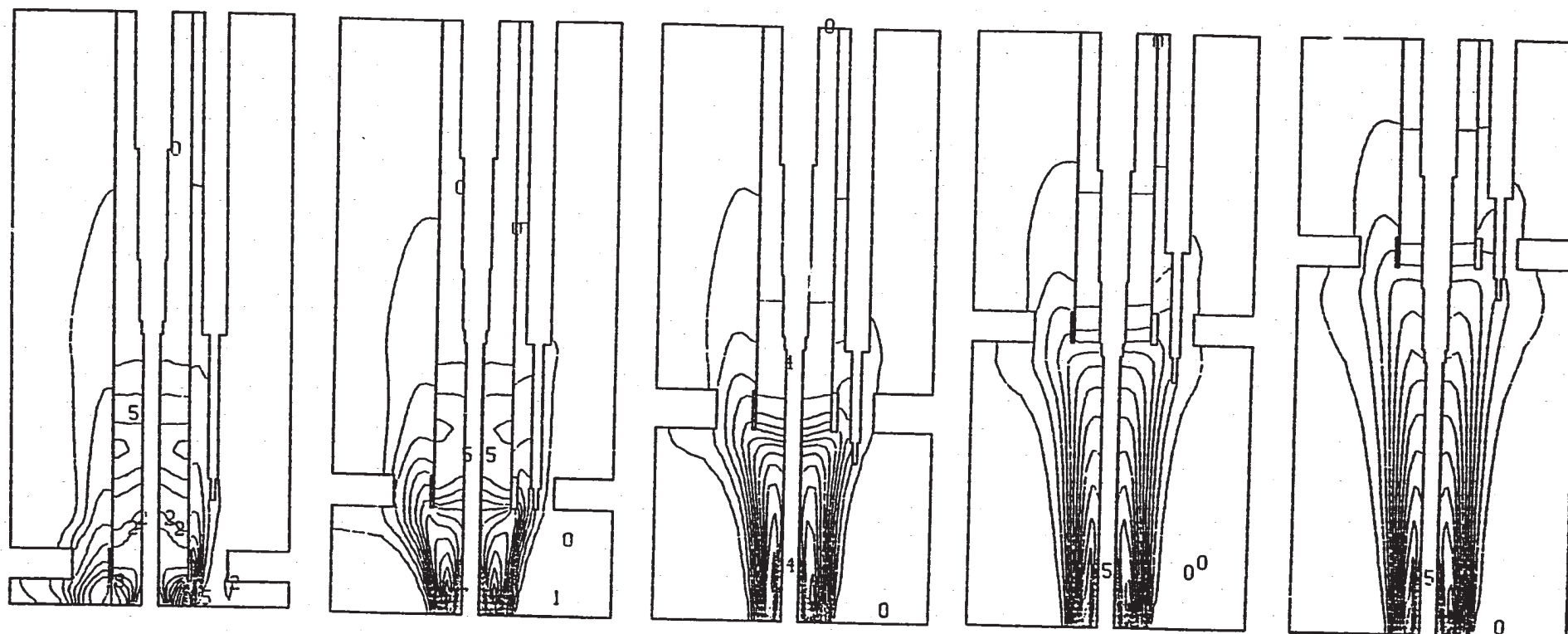
$J = 6, 14$

Fig.3.4 Comparison of Temperature Fluctuation Fields for Vertical Planes (6/9)



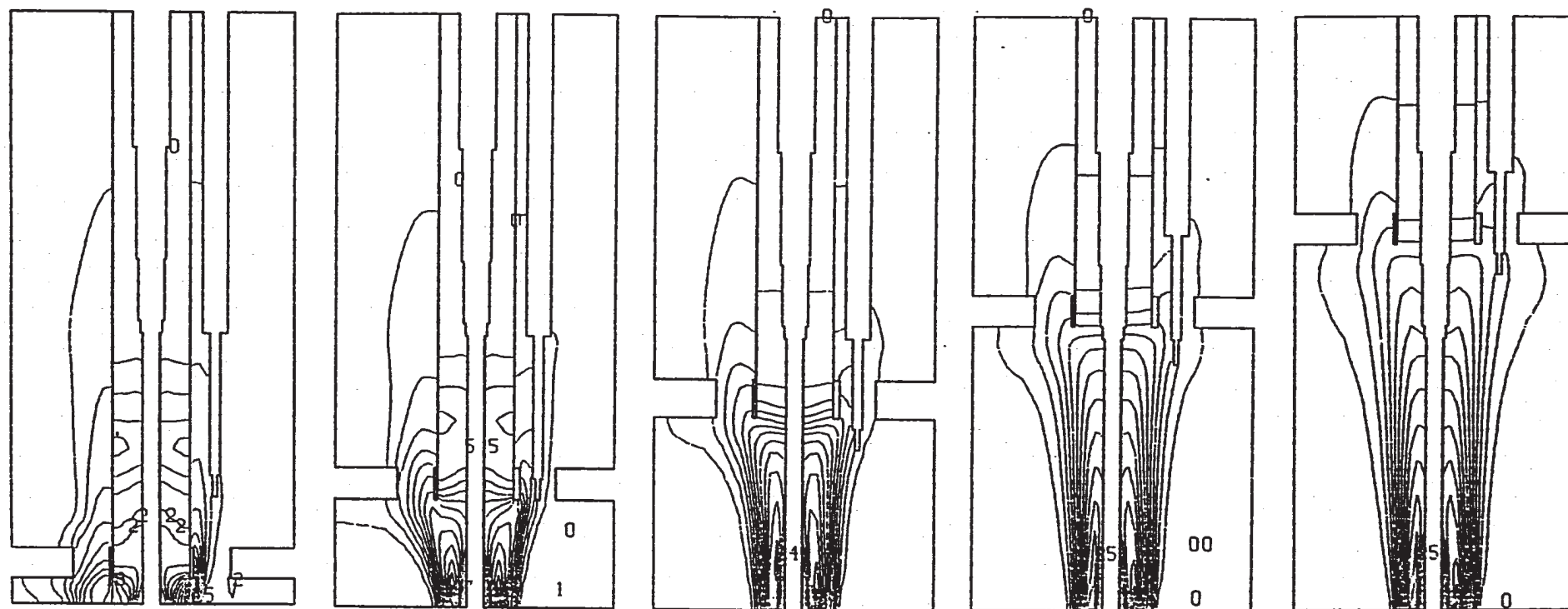
$J = 7, 15$

Fig.3.4 Comparison of Temperature Fluctuation Fields for Vertical Planes (7/9)



$J = 8, 16$

Fig.3.4 Comparison of Temperature Fluctuation Fields for Vertical Planes (8/9)



$J = 9, 17$

Fig.3.4 Comparison of Temperature Fluctuation Fields for Vertical Planes (9/9)

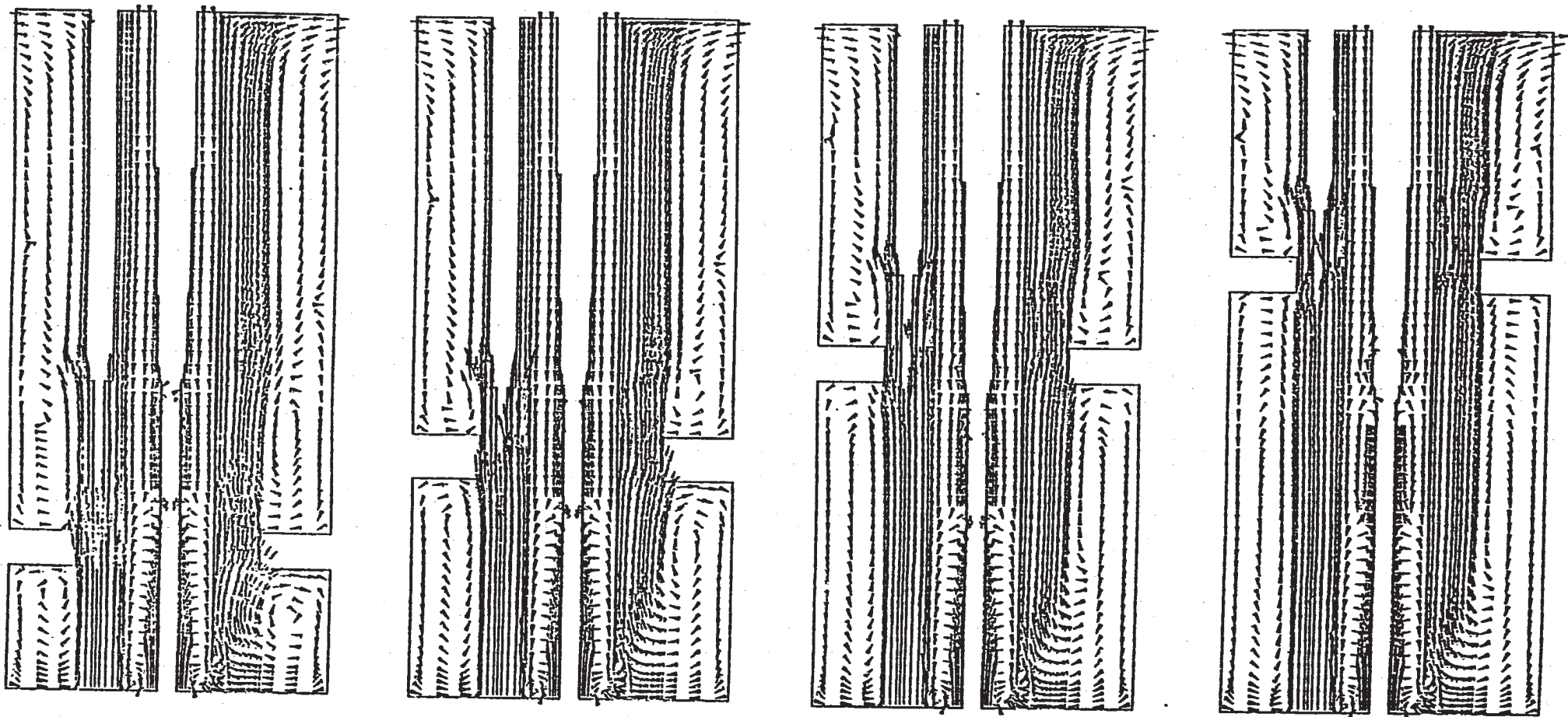
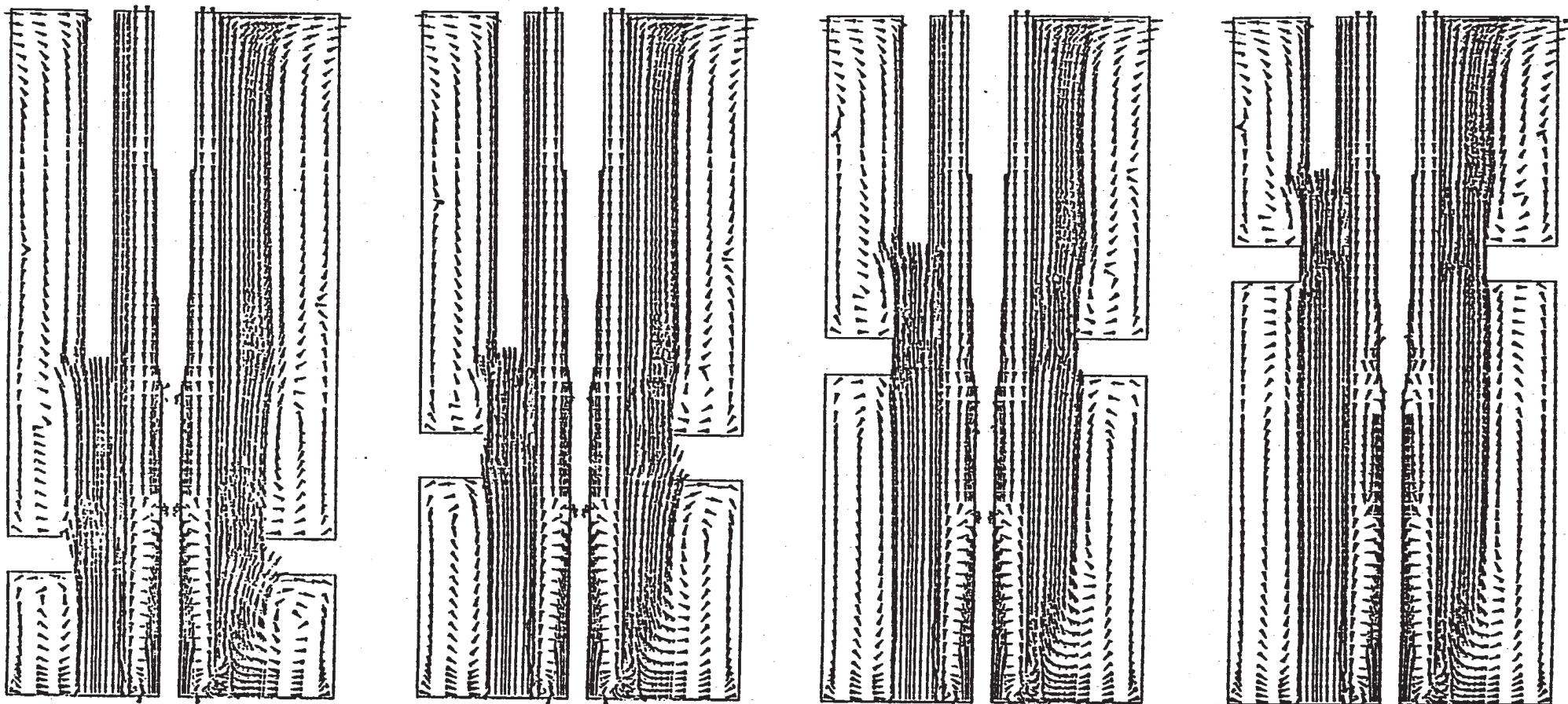


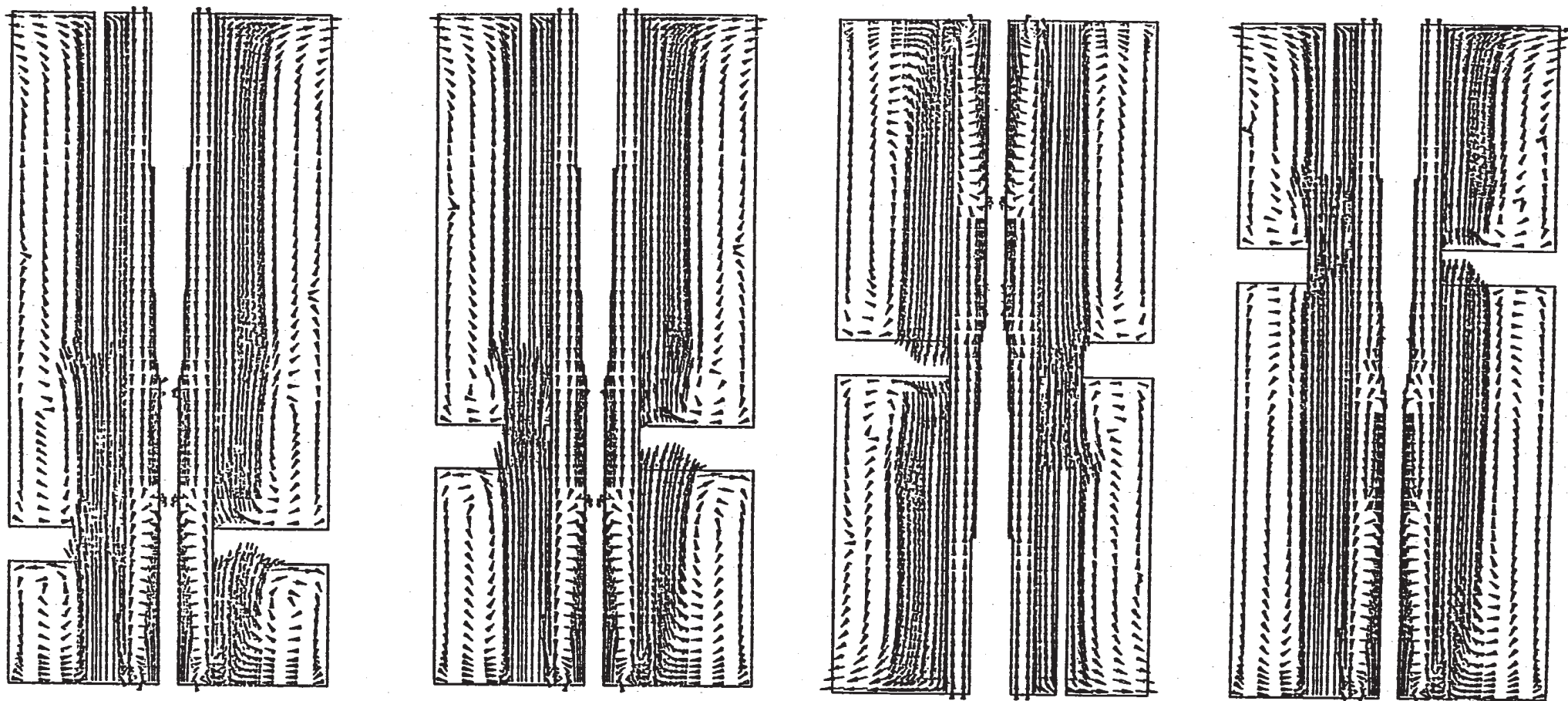
Fig.3.5 Comparison of Velocity Vector Fields for Vertical Planes (1/9)

$J = 1, 9$
 10.00 M/S



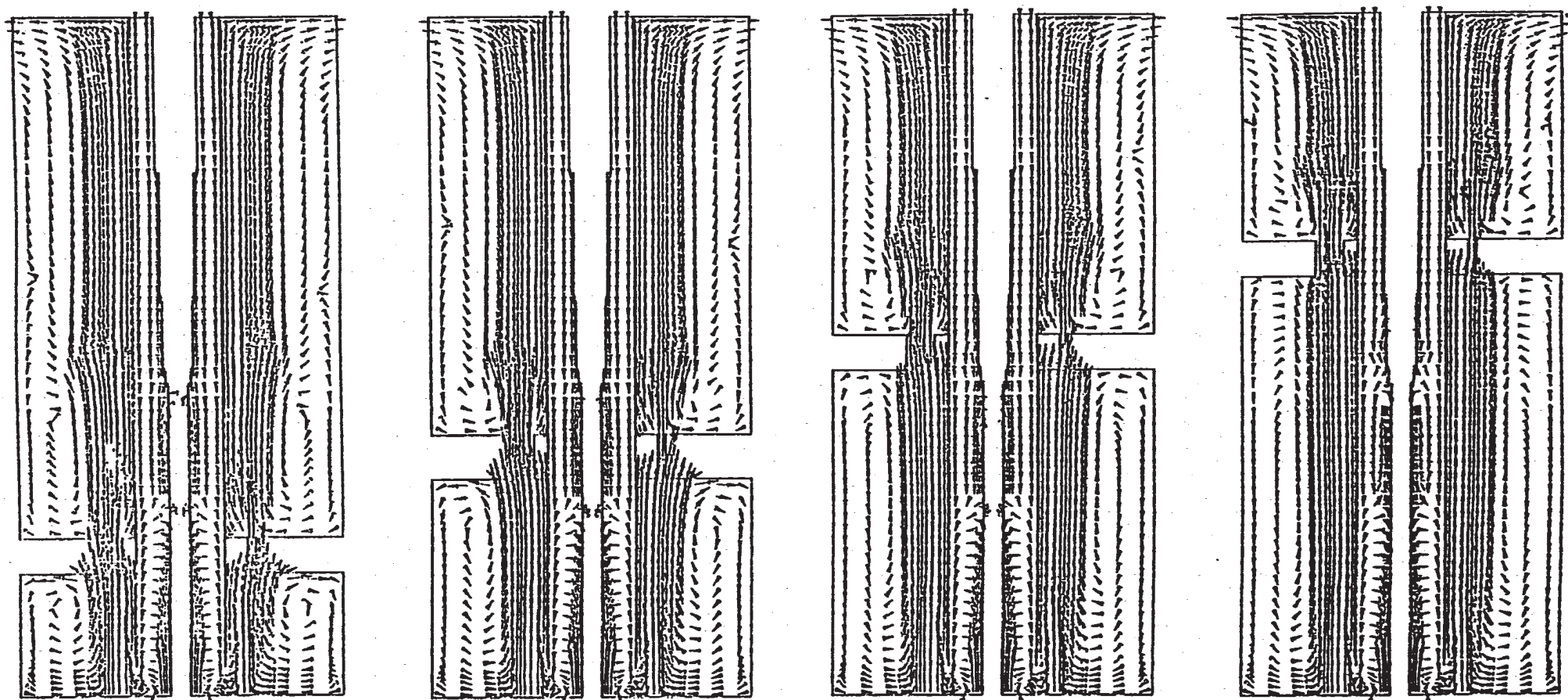
$J = 2, 10$
 10.00 M/S

Fig.3.5 Comparison of Velocity Vector Fields for Vertical Planes (2/9)



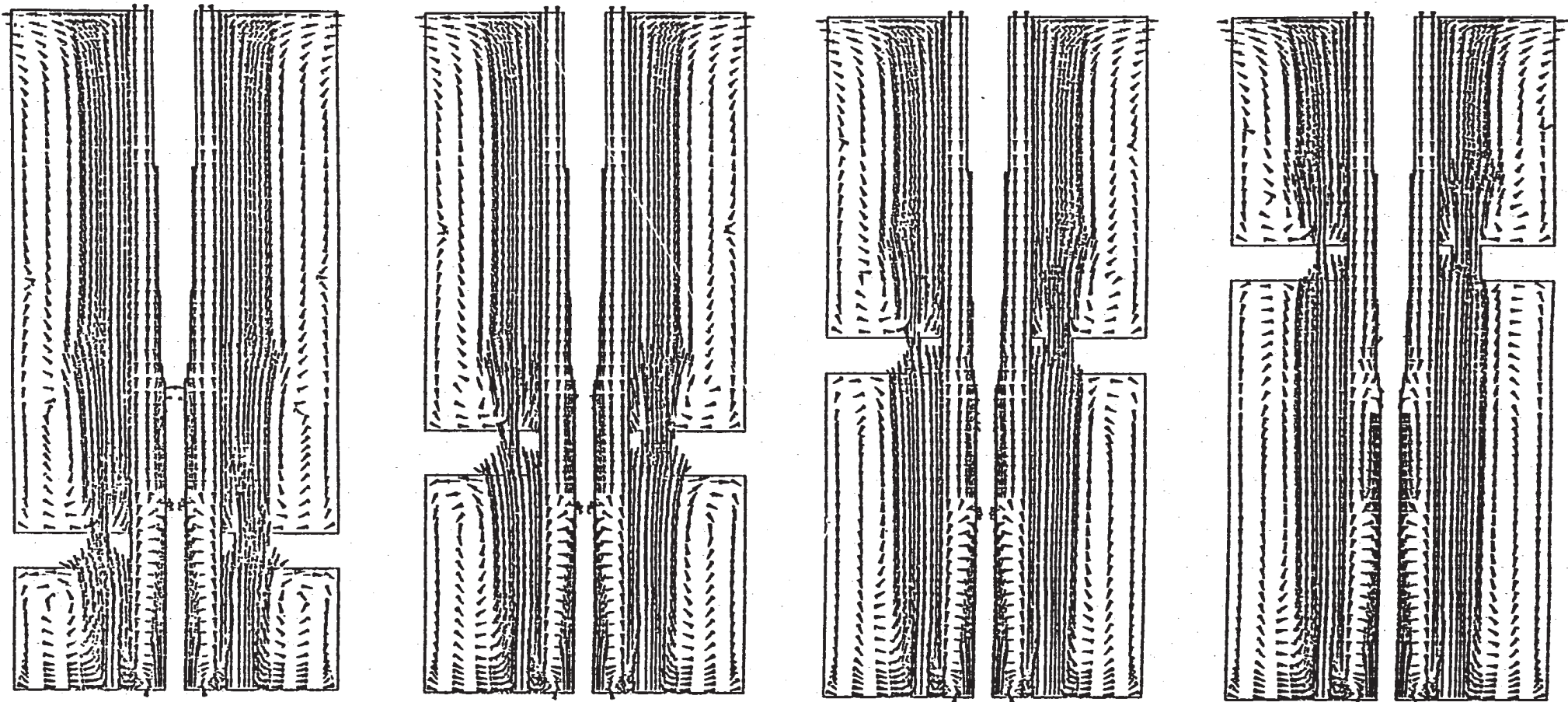
$J = 3, 11$
 10.00 M/S

Fig.3.5 Comparison of Velocity Vector Fields for Vertical Planes (3/9)



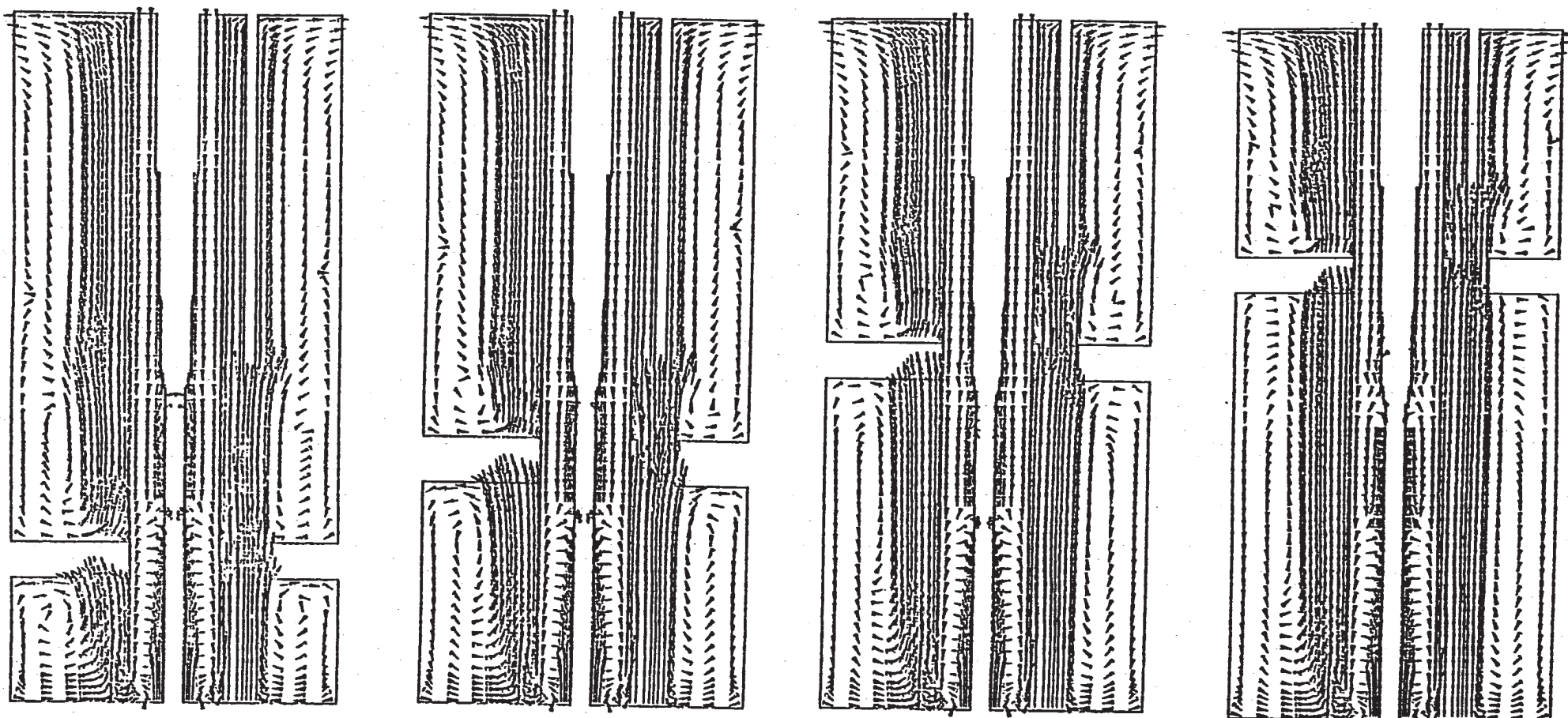
$J = 4, 12$
 10.00 M/S

Fig.3.5 Comparison of Velocity Vector Fields for Vertical Planes (4/9)



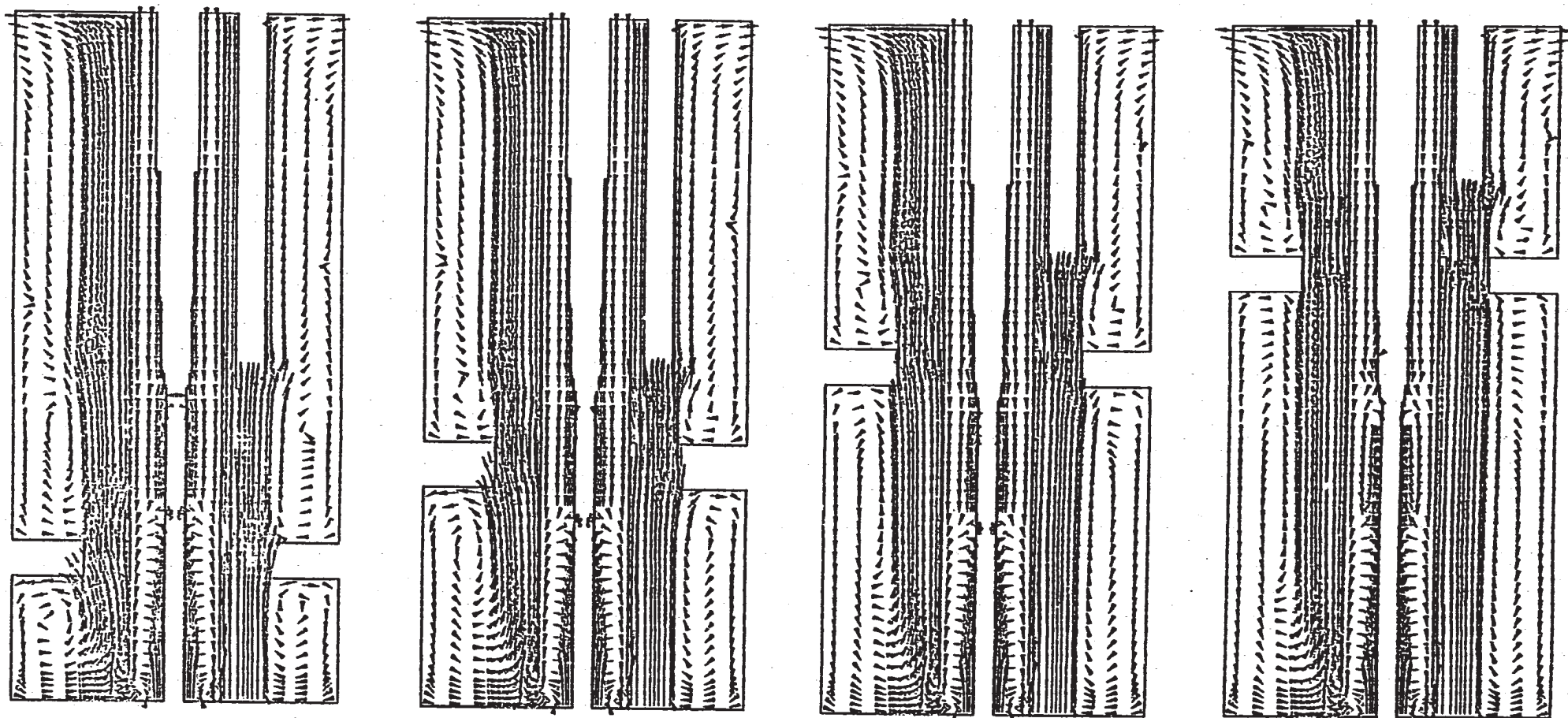
$J = 5, 13$
 10.00 M/S

Fig.3.5 Comparison of Velocity Vector Fields for Vertical Planes (5/9)



$J = 6, 14$
 10.00 M/S

Fig.3.5 Comparison of Velocity Vector Fields for Vertical Planes (6/9)



$J = 7, 15$
 10.00 M/S

Fig.3.5 Comparison of Velocity Vector Fields for Vertical Planes (7/9)

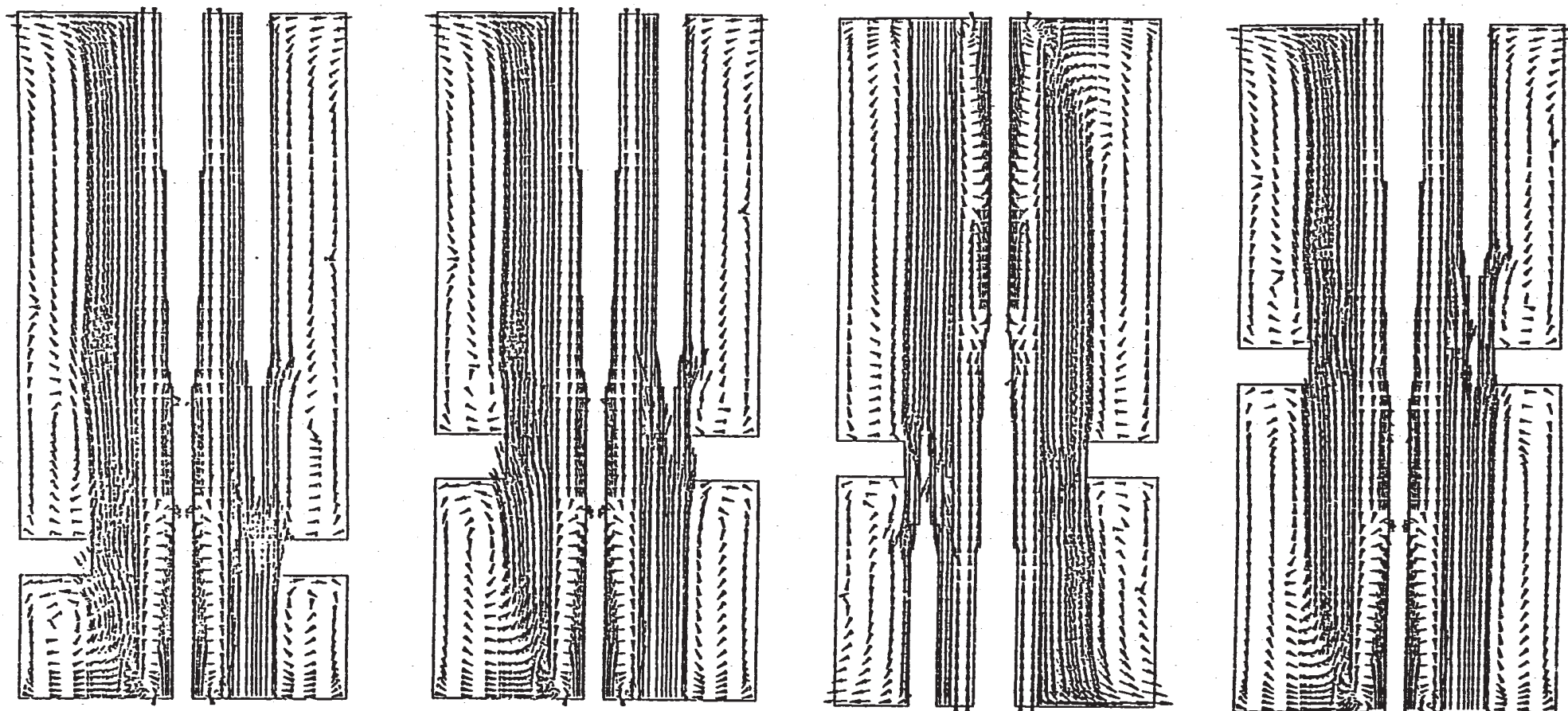
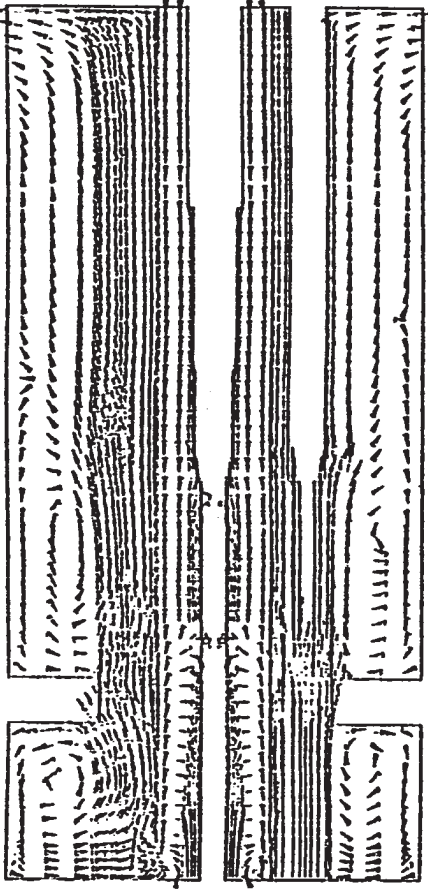
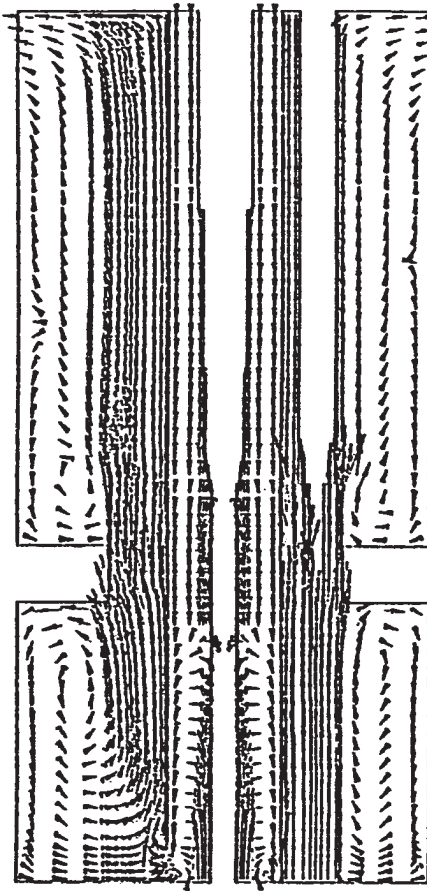
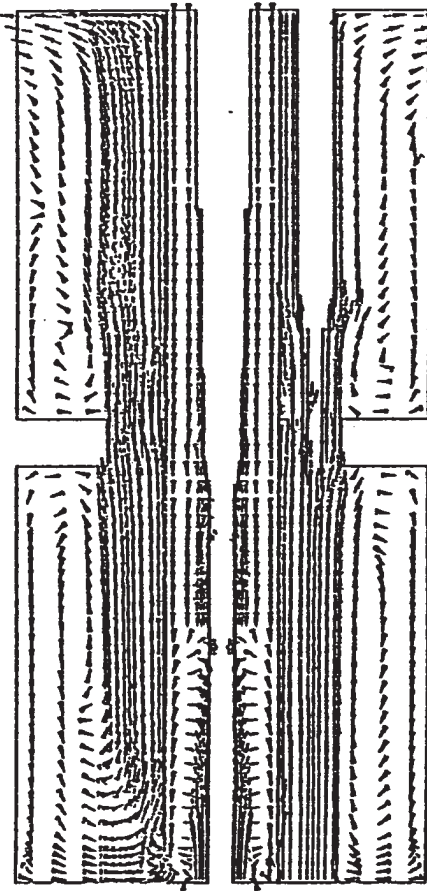
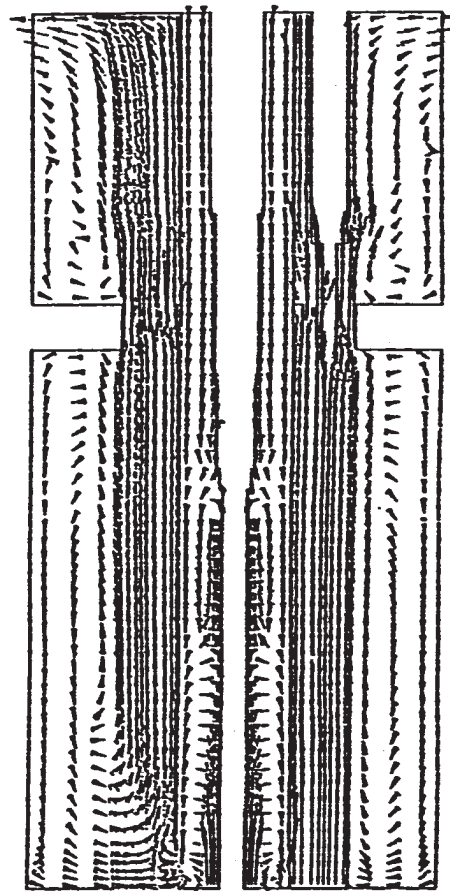


Fig.3.5 Comparison of Velocity Vector Fields for Vertical Planes (8/9)

J = 8, 16 10.00 M/S



$J = 9, 17$
 10.00 M/S

Fig.3.5 Comparison of Velocity Vector Fields for Vertical Planes (9/9)

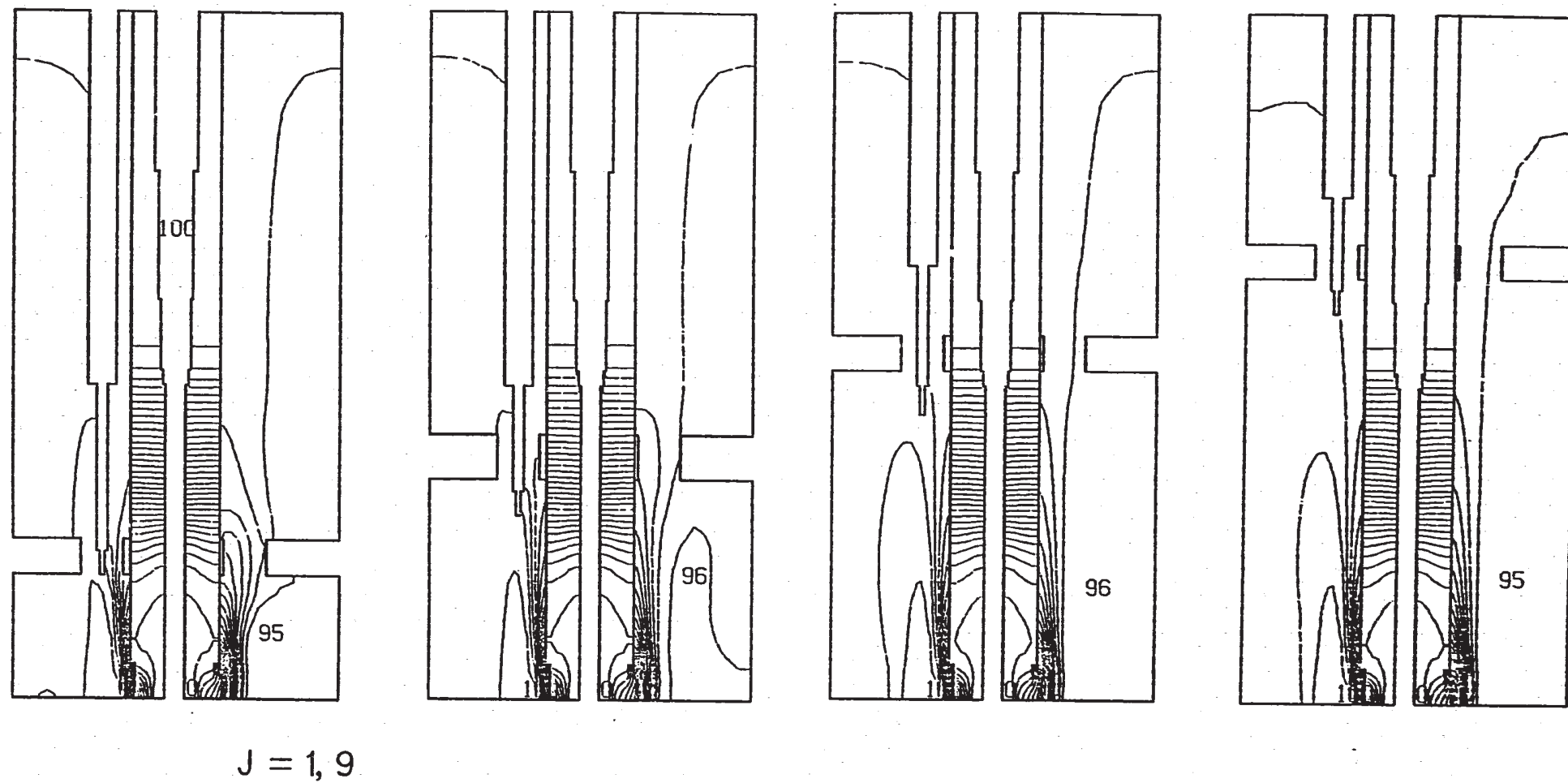


Fig.3.6 Comparison of Mean Temperature Fields for Vertical Planes (1/9)

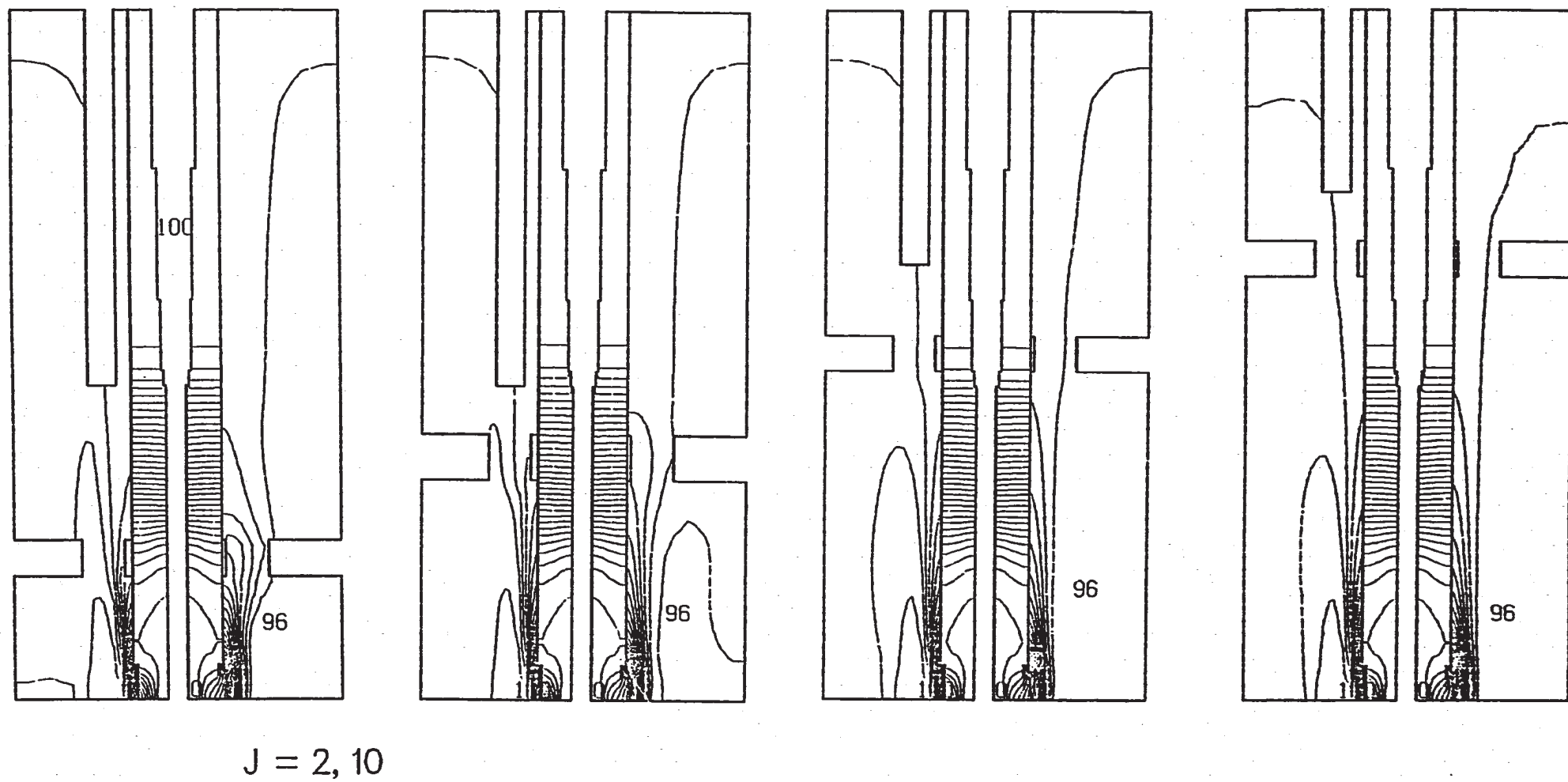
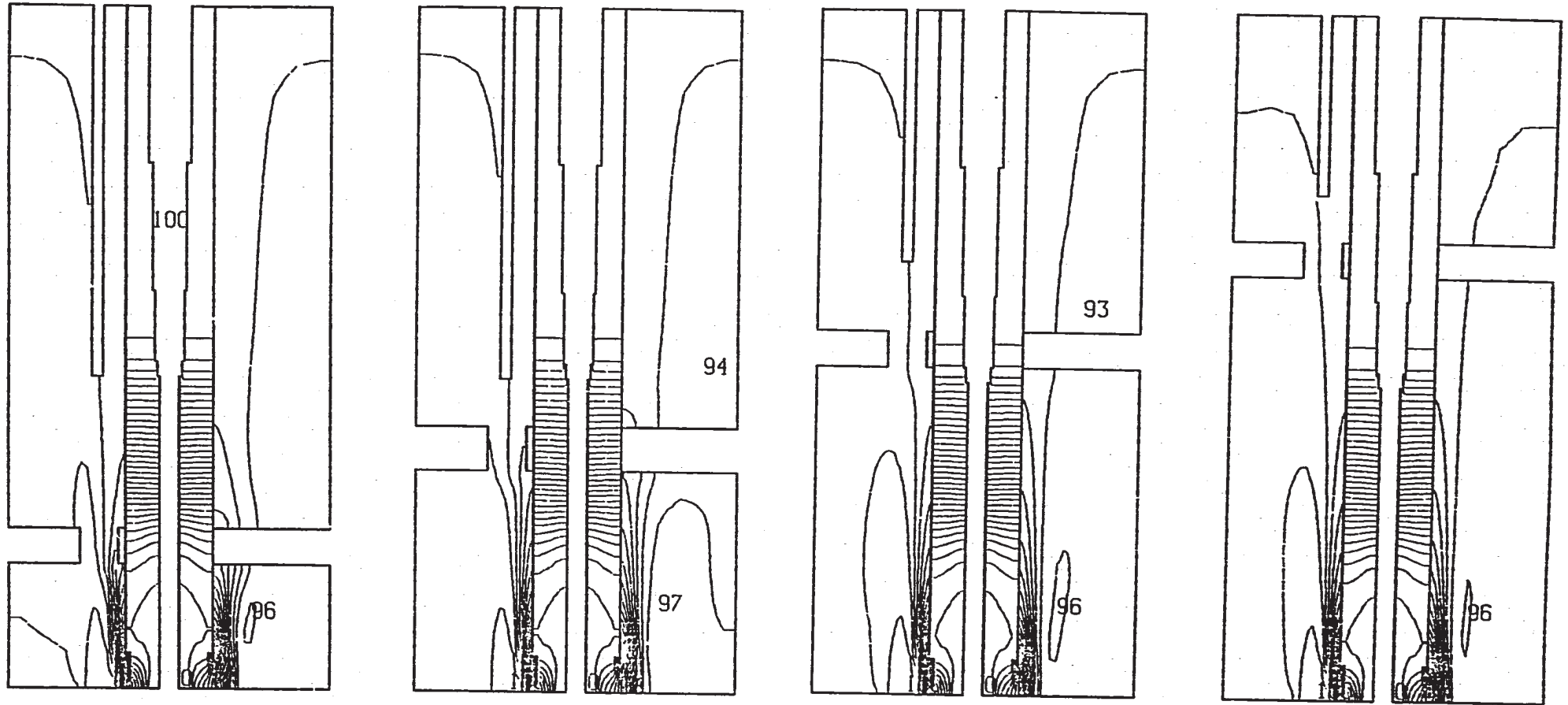


Fig.3.6 Comparison of Mean Temperature Fields for Vertical Planes (2/9)



$J = 3, 11$

Fig.3.6 Comparison of Mean Temperature Fields for Vertical Planes (3/9)

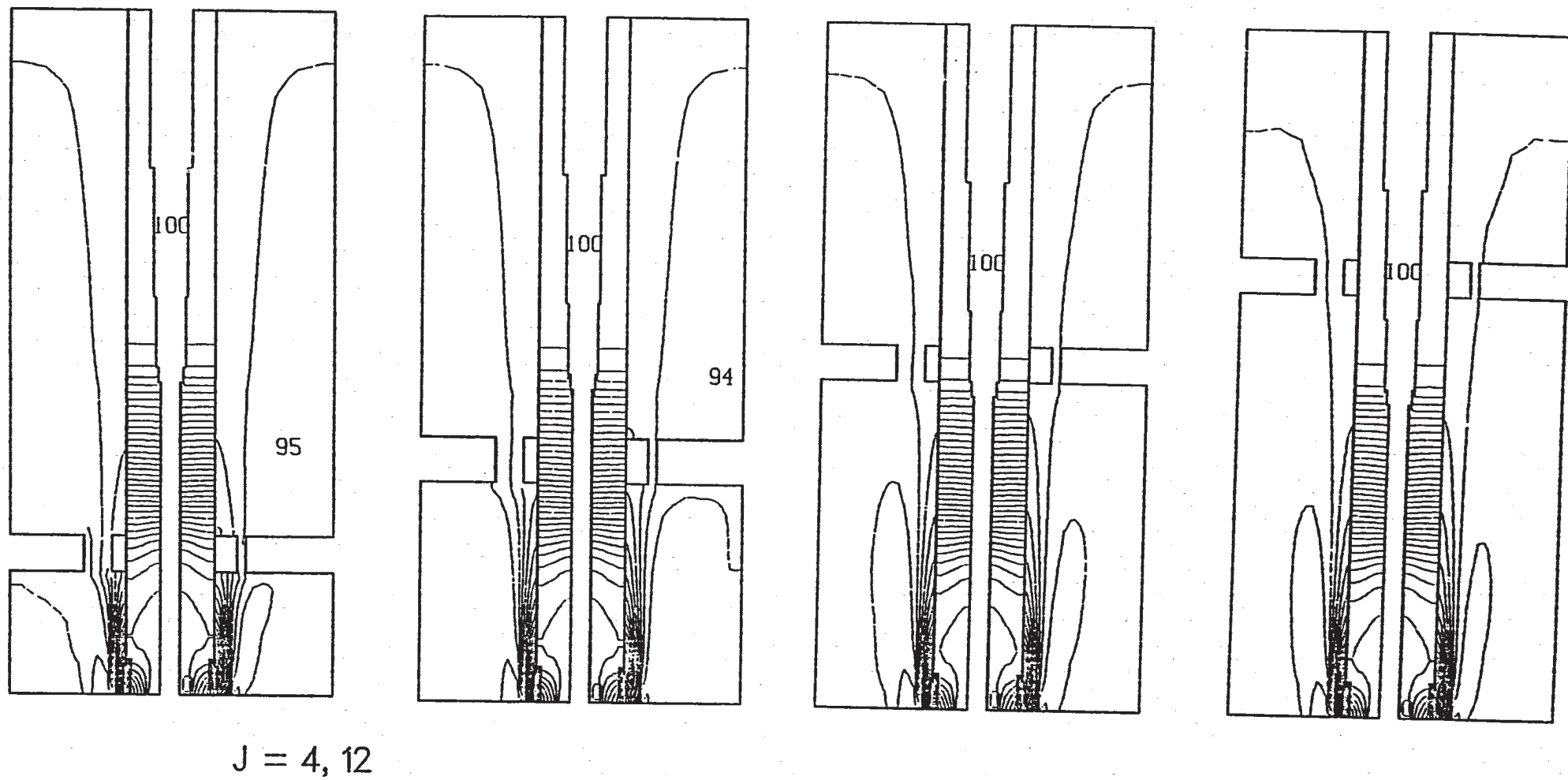
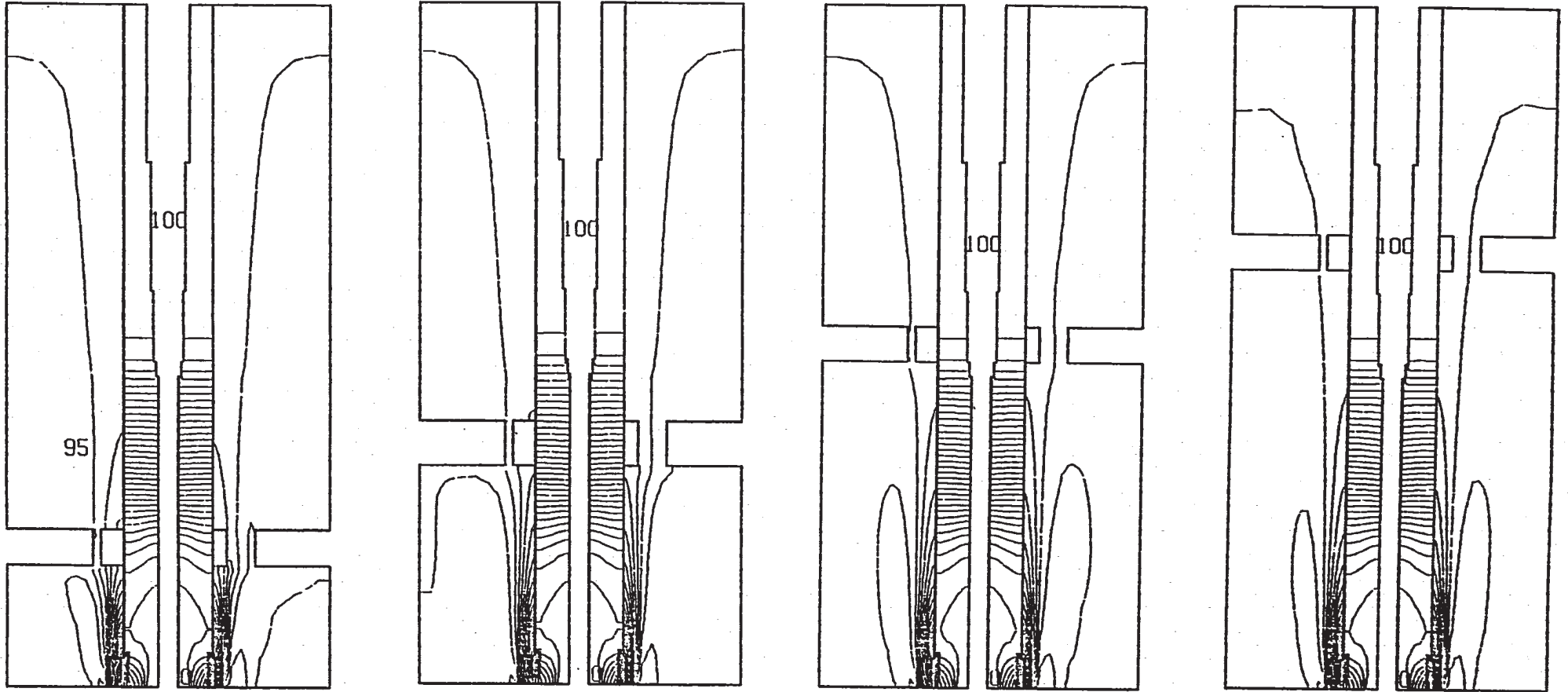
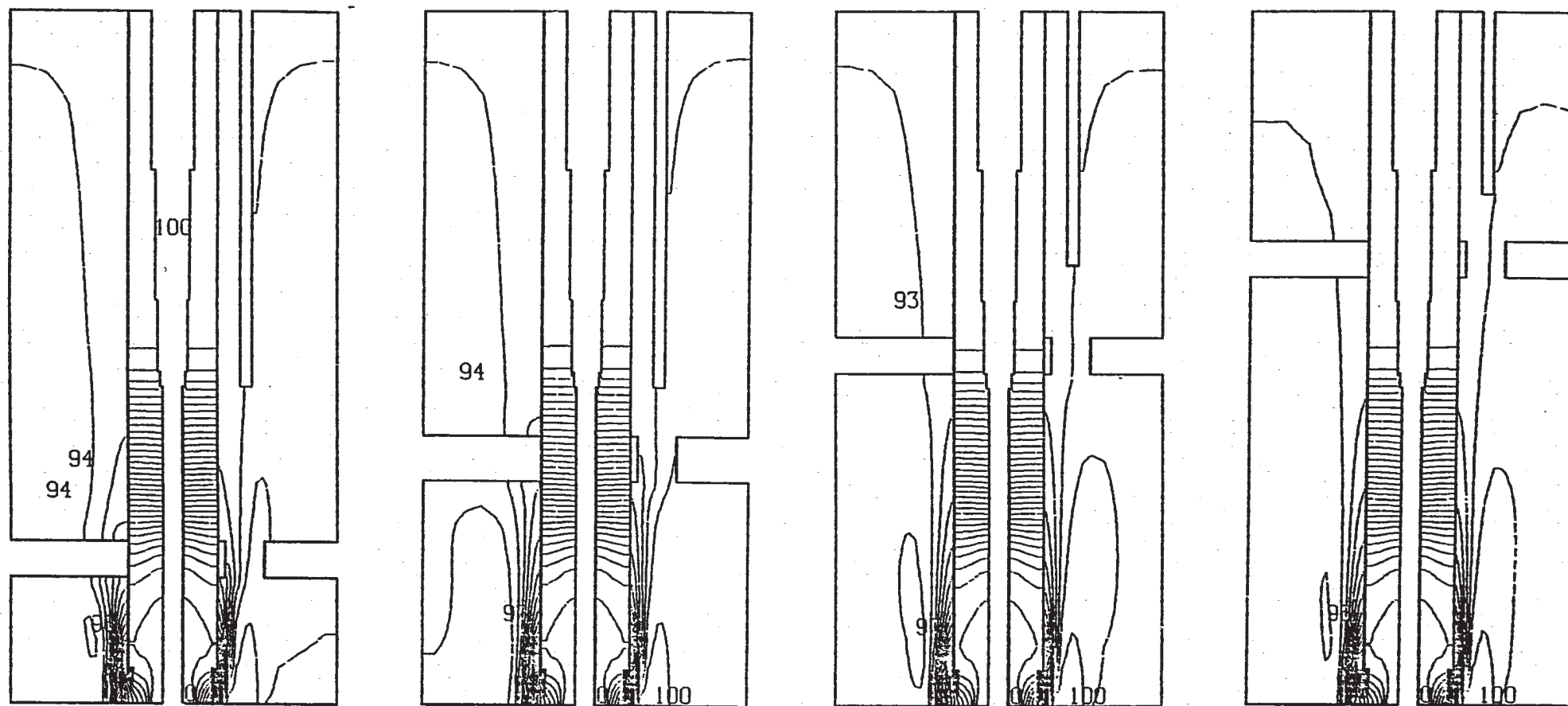


Fig.3.6 Comparison of Mean Temperature Fields for Vertical Planes (4/9)



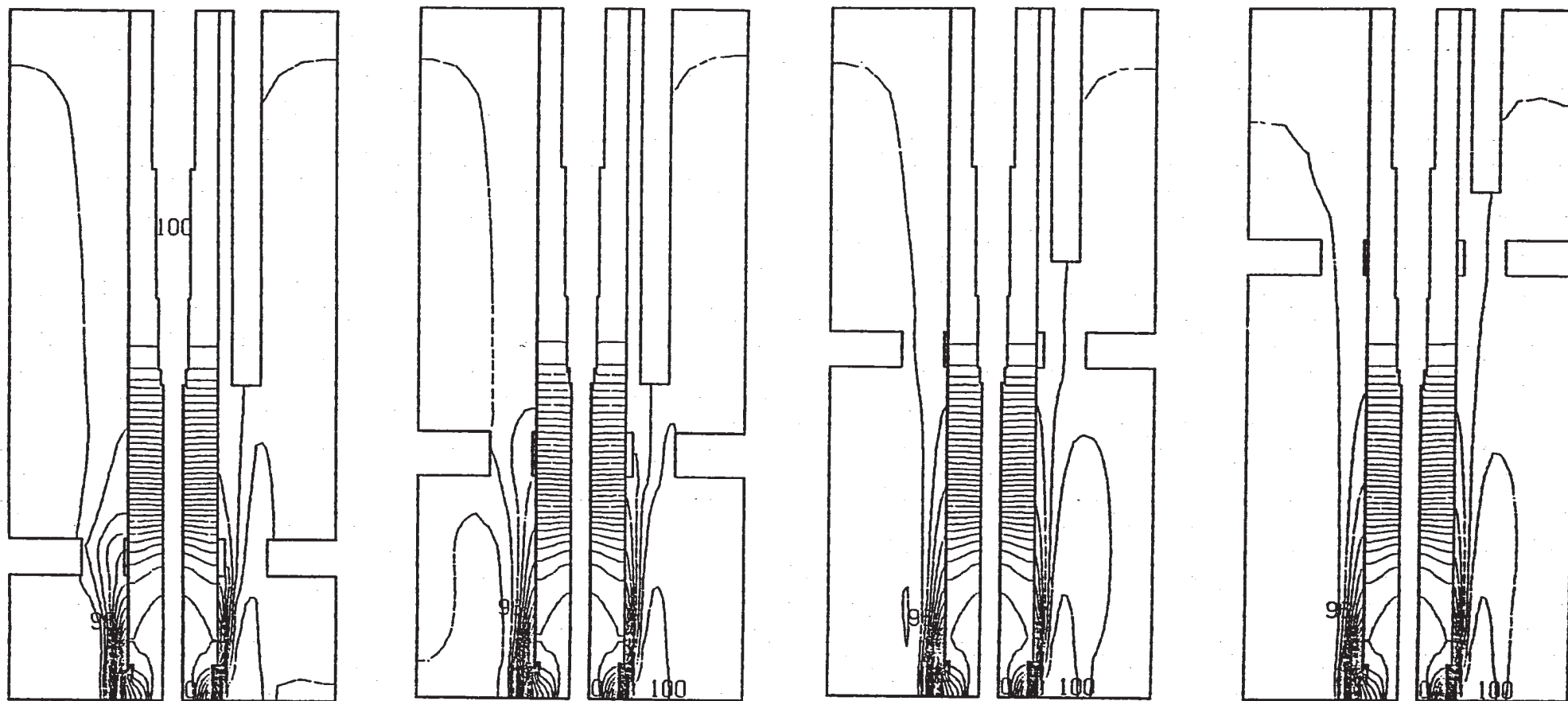
$J = 5, 13$

Fig.3.6 Comparison of Mean Temperature Fields for Vertical Planes (5/9)



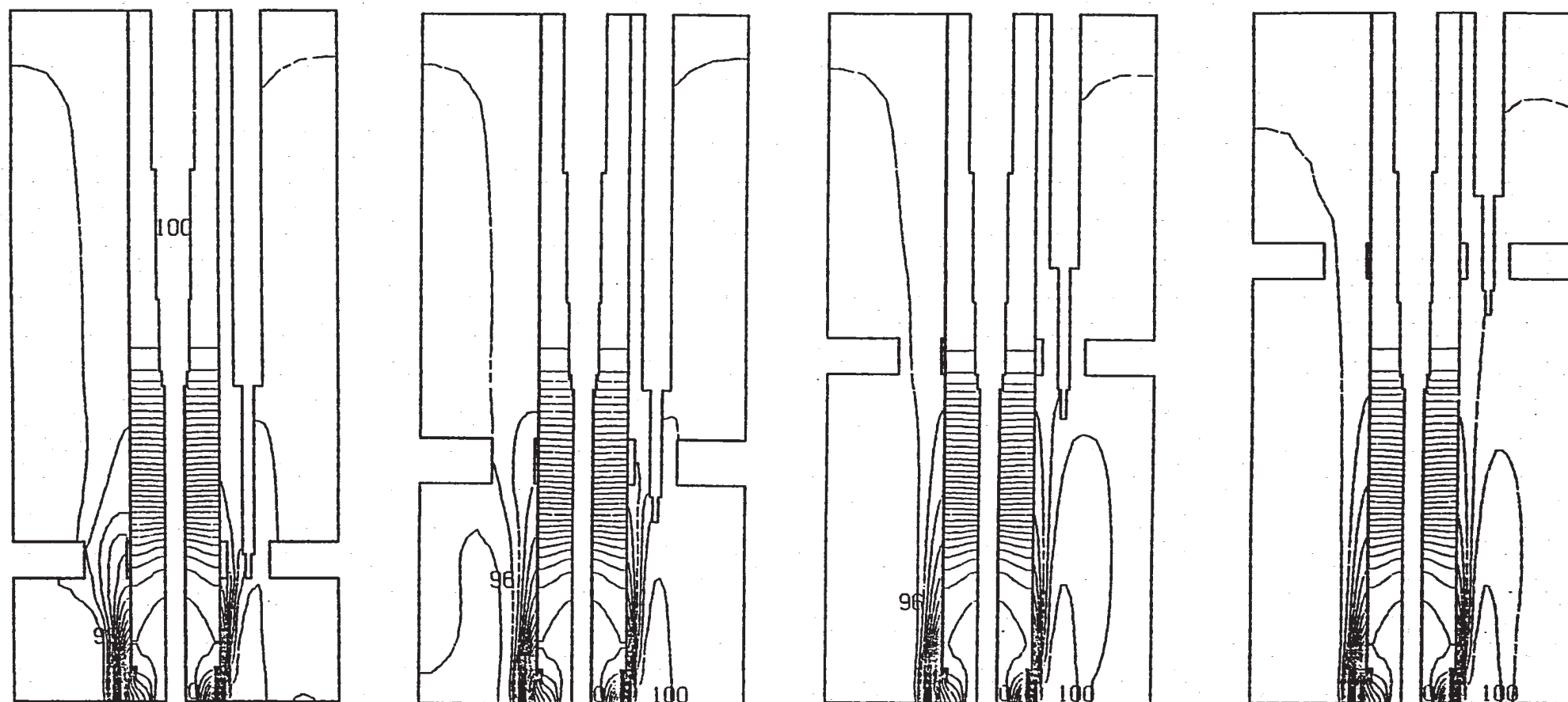
$J = 6, 14$

Fig.3.6 Comparison of Mean Temperature Fields for Vertical Planes (6/9)



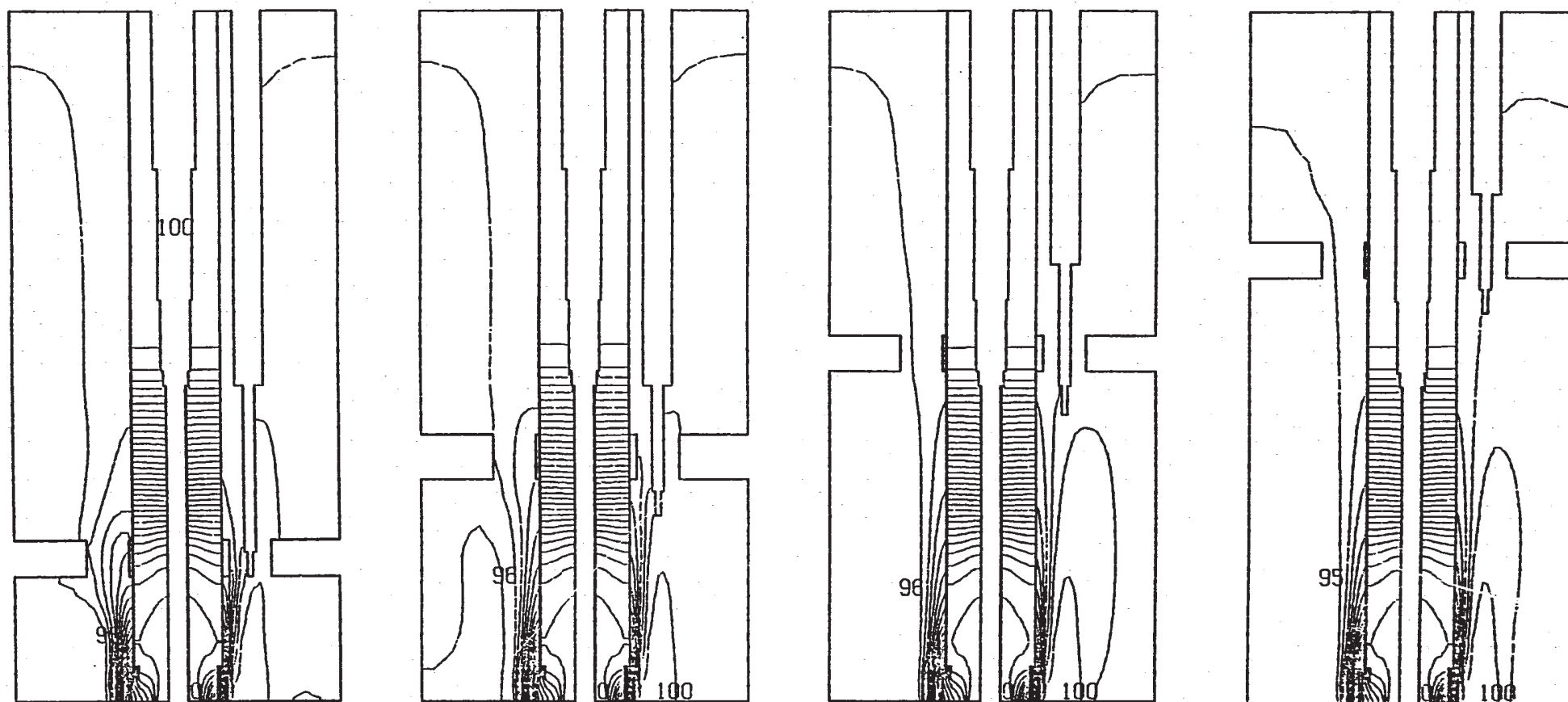
$J = 7, 15$

Fig.3.6 Comparison of Mean Temperature Fields for Vertical Planes (7/9)



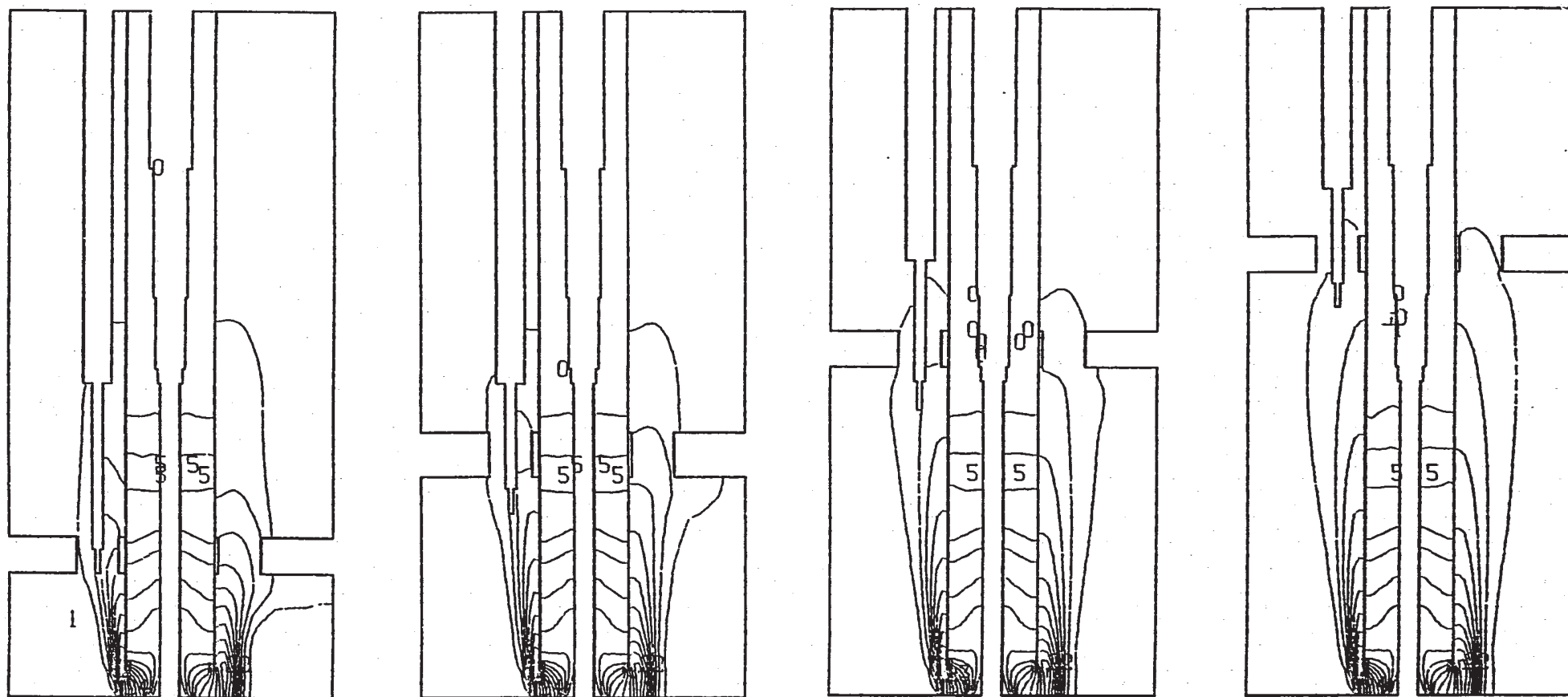
$J = 8, 16$

Fig.3.6 Comparison of Mean Temperature Fields for Vertical Planes (8/9)



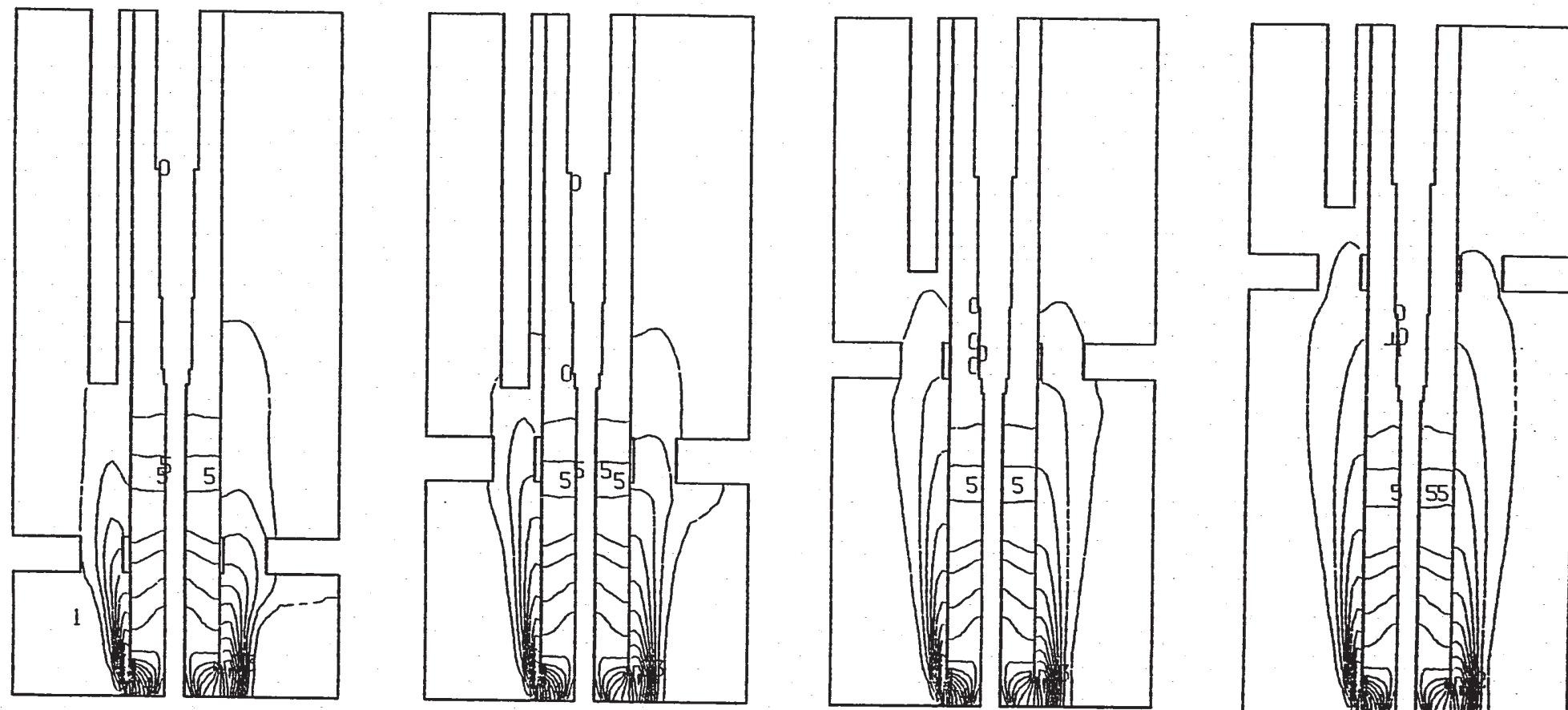
$J = 9, 17$

Fig.3.6 Comparison of Mean Temperature Fields for Vertical Planes (9/9)



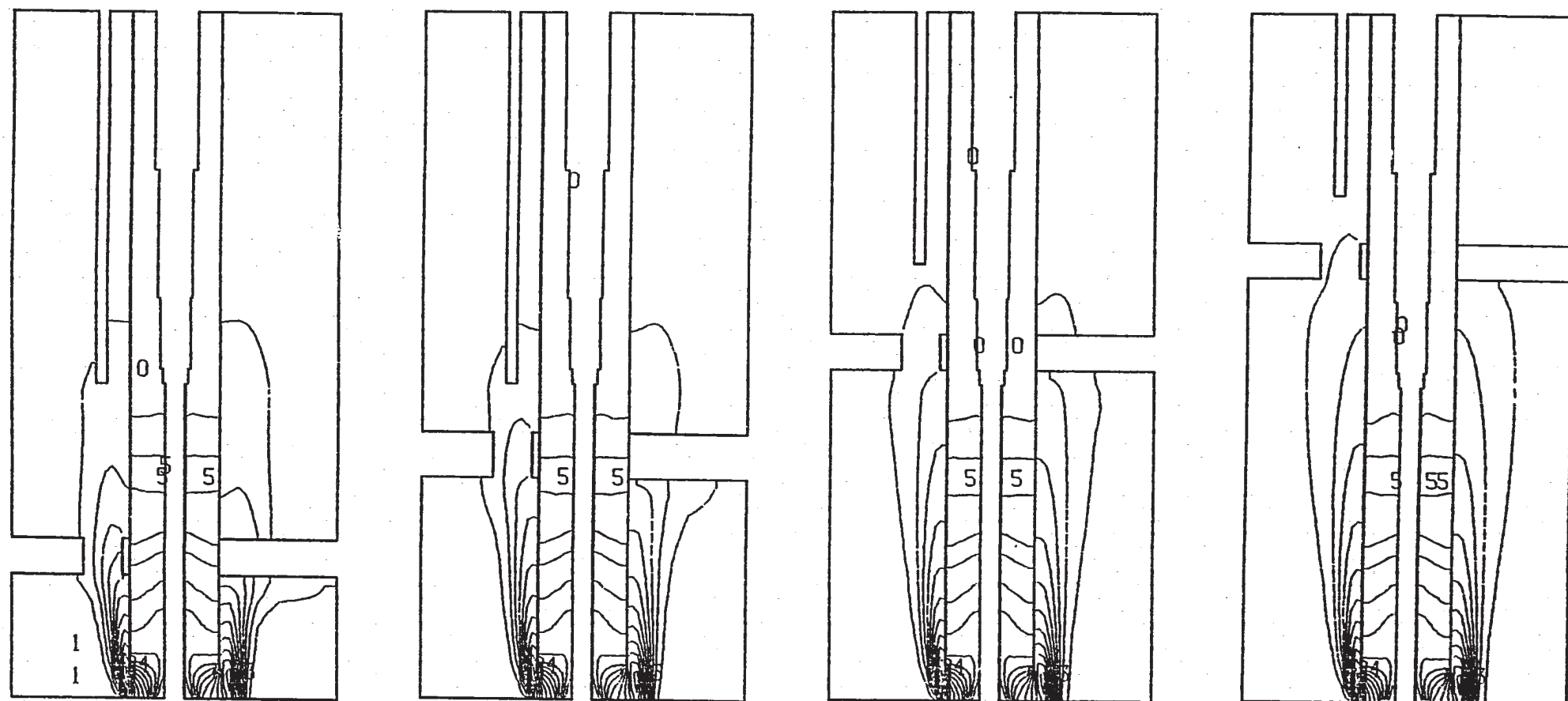
$J = 1, 9$

Fig.3.7 Comparison of Temperature Fluctuation Fields for Vertical Planes (1/9)



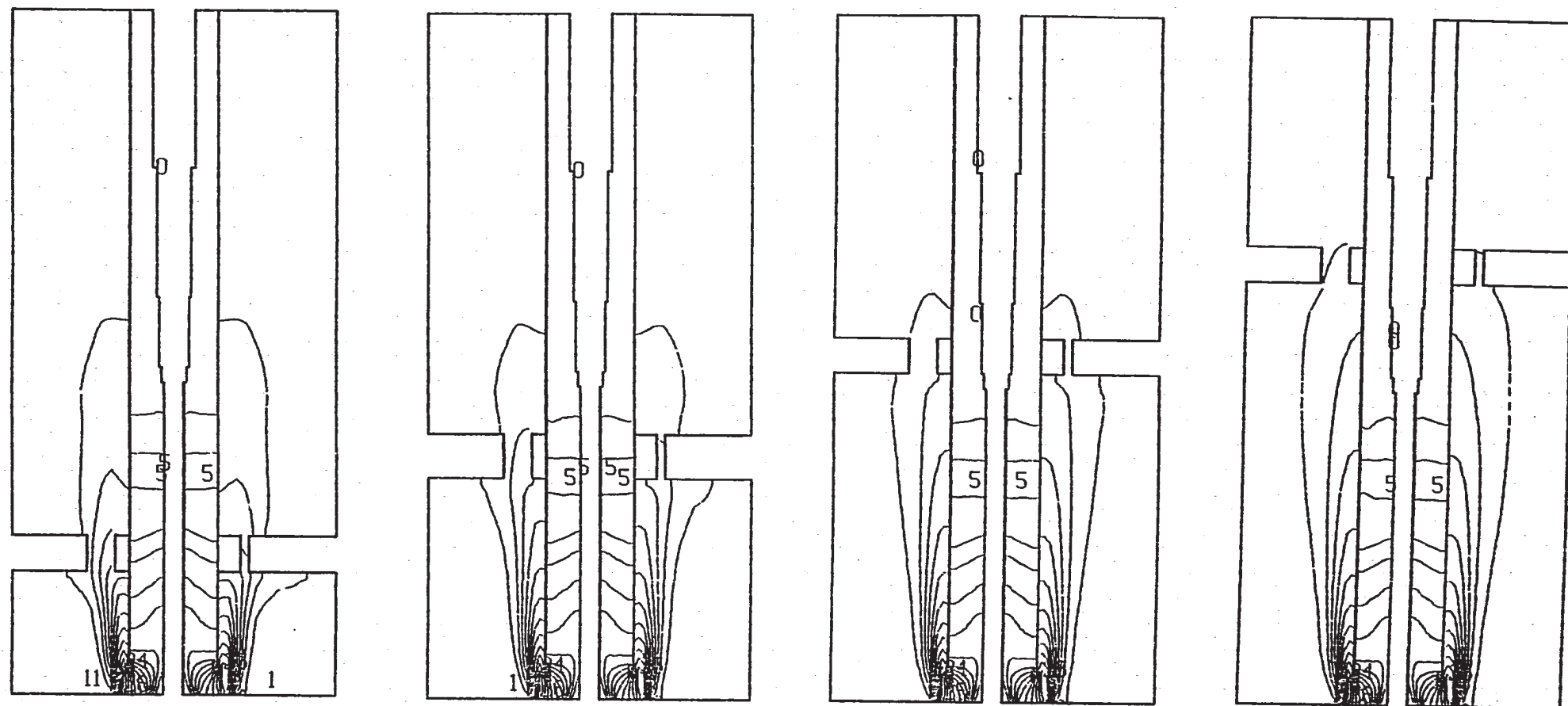
$J = 2, 10$

Fig.3.7 Comparison of Temperature Fluctuation Fields for Vertical Planes (2/9)



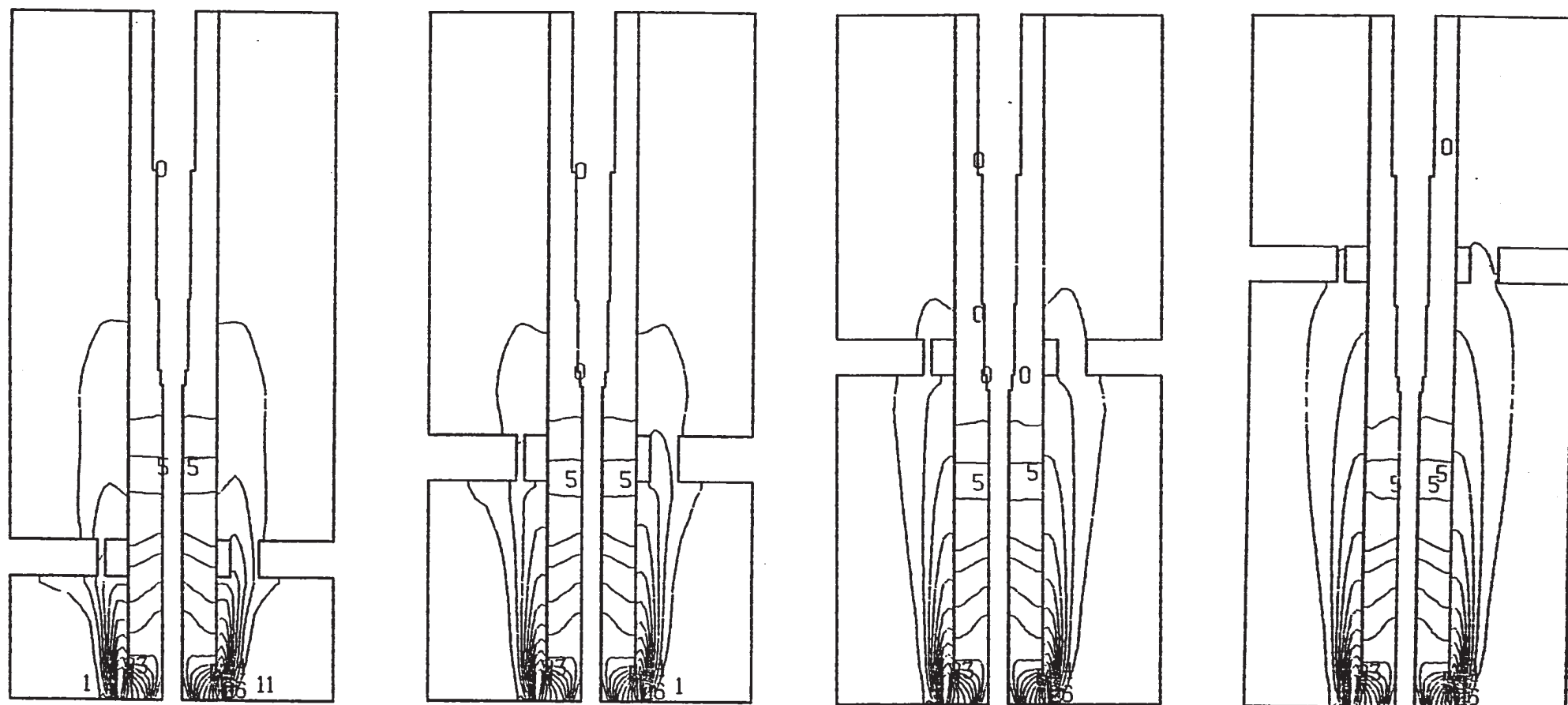
$J = 3, 11$

Fig.3.7 Comparison of Temperature Fluctuation Fields for Vertical Planes (3/9)



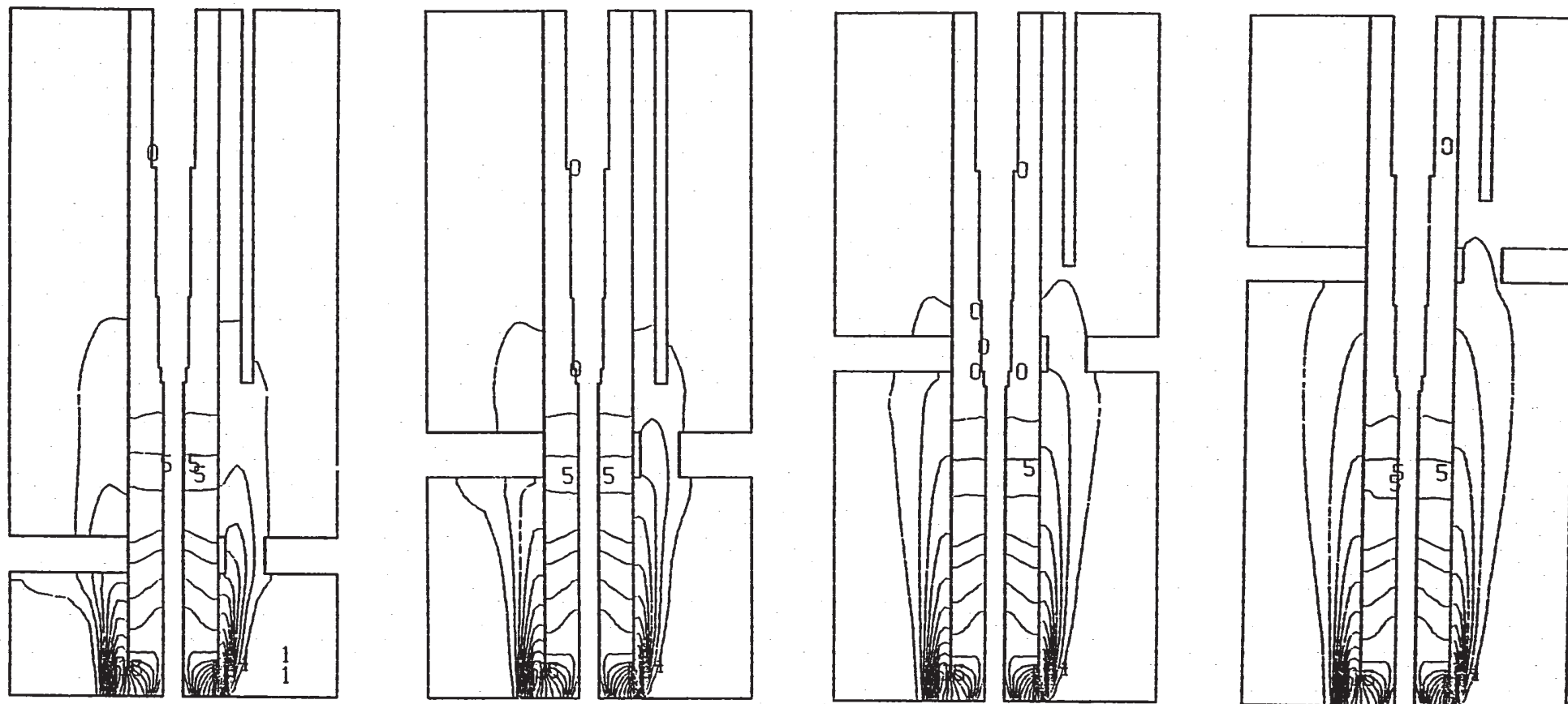
$J = 4, 12$

Fig.3.7 Comparison of Temperature Fluctuation Fields for Vertical Planes (4/9)



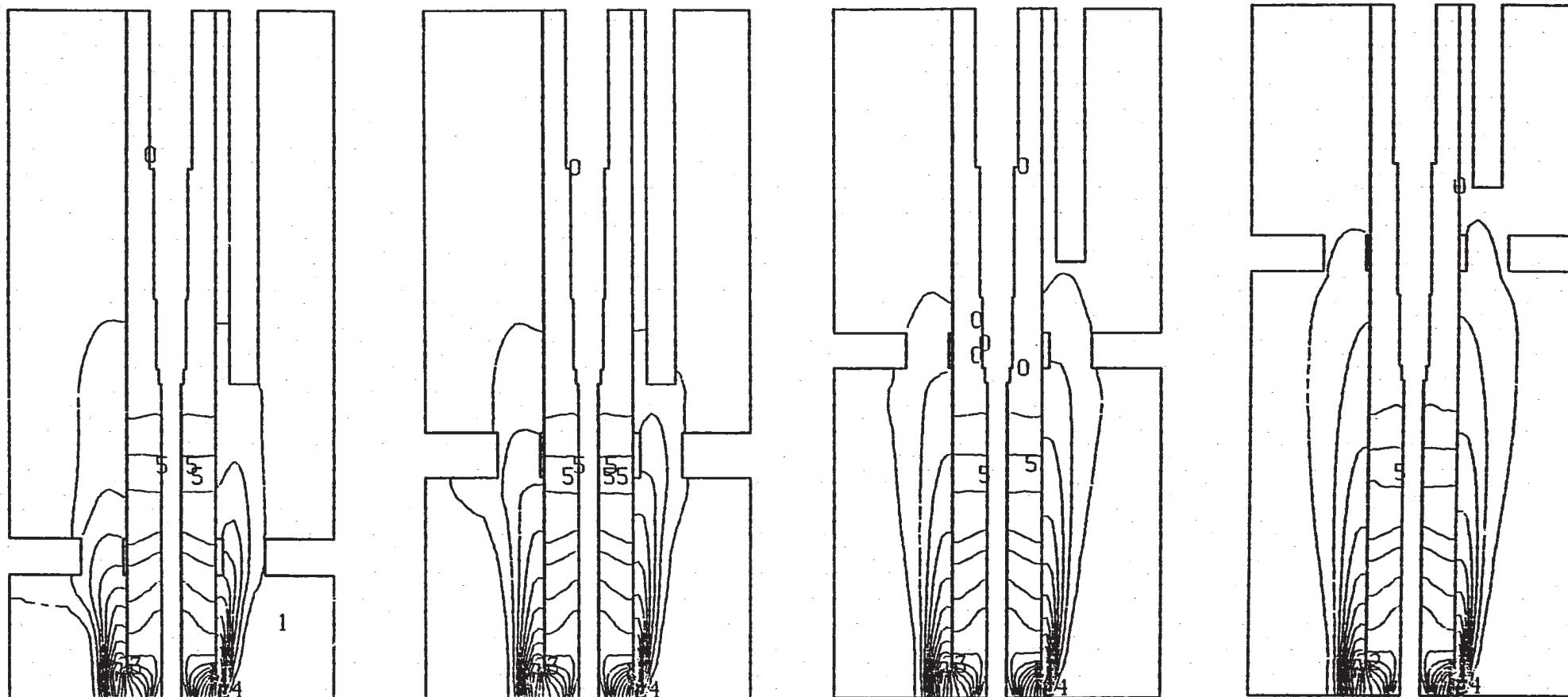
$J = 5, 13$

Fig.3.7 Comparison of Temperature Fluctuation Fields for Vertical Planes (5/9)



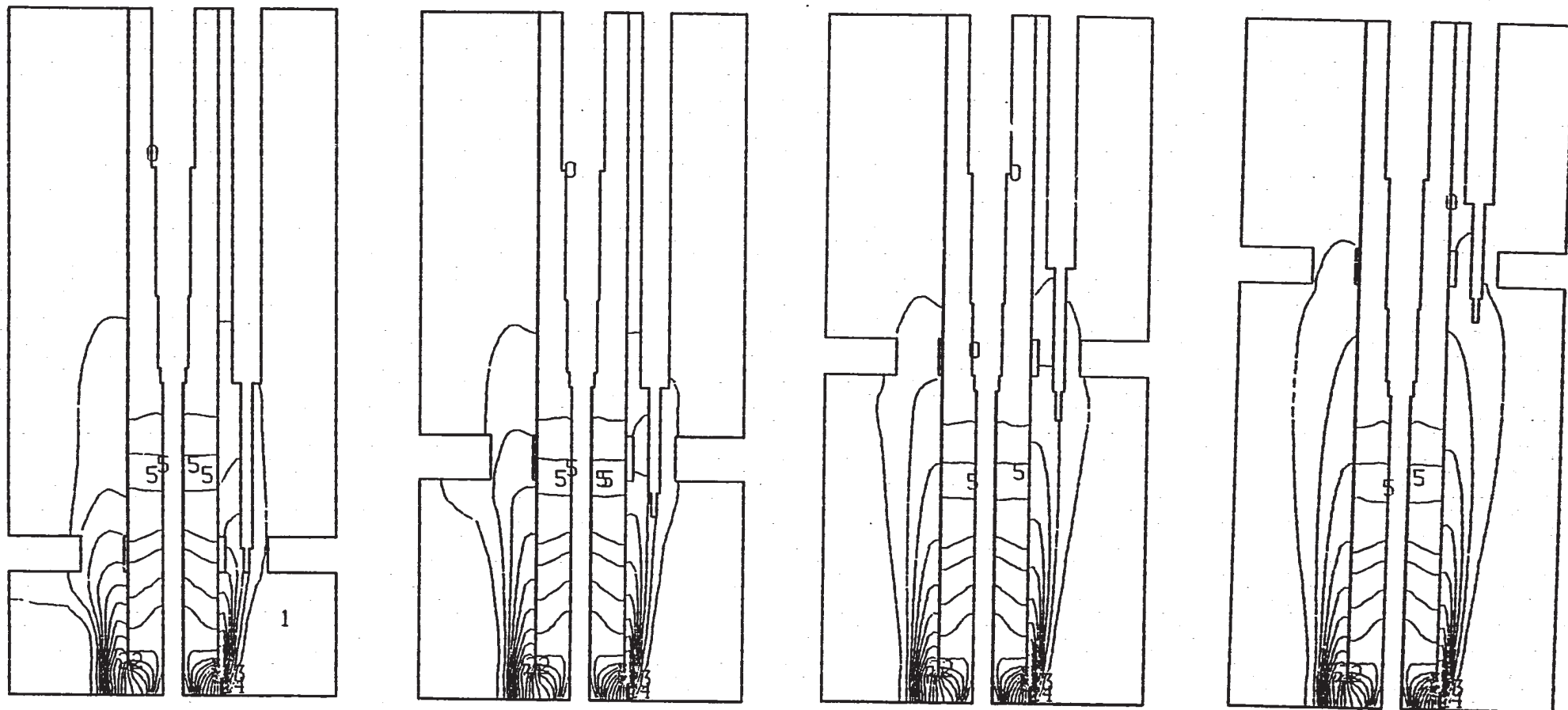
$J = 6, 14$

Fig.3.7 Comparison of Temperature Fluctuation Fields for Vertical Planes (6/9)



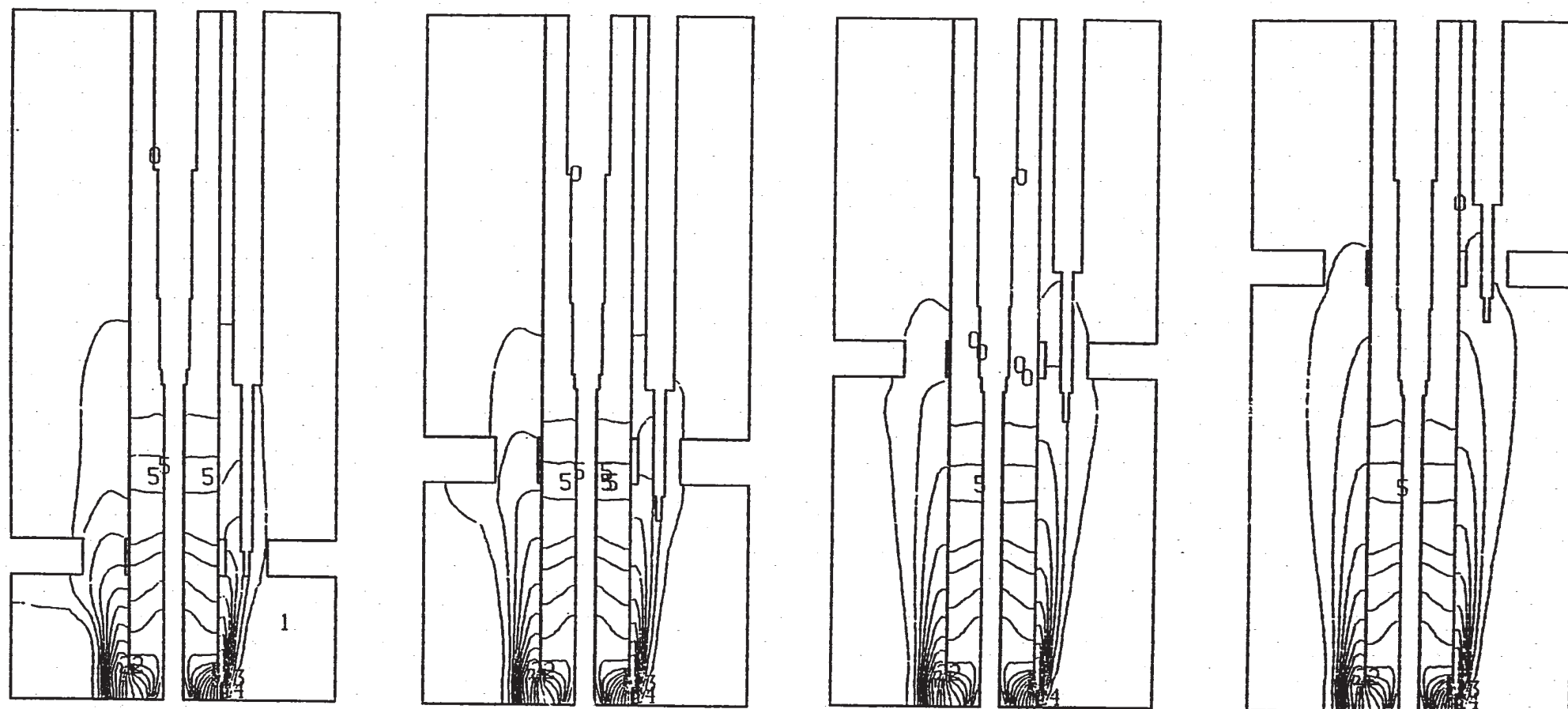
$J = 7, 15$

Fig.3.7 Comparison of Temperature Fluctuation Fields for Vertical Planes (7/9)



$J = 8, 16$

Fig.3.7 Comparison of Temperature Fluctuation Fields for Vertical Planes (8/9)



$J = 9, 17$

Fig.3.7 Comparison of Temperature Fluctuation Fields for Vertical Planes (9/9)

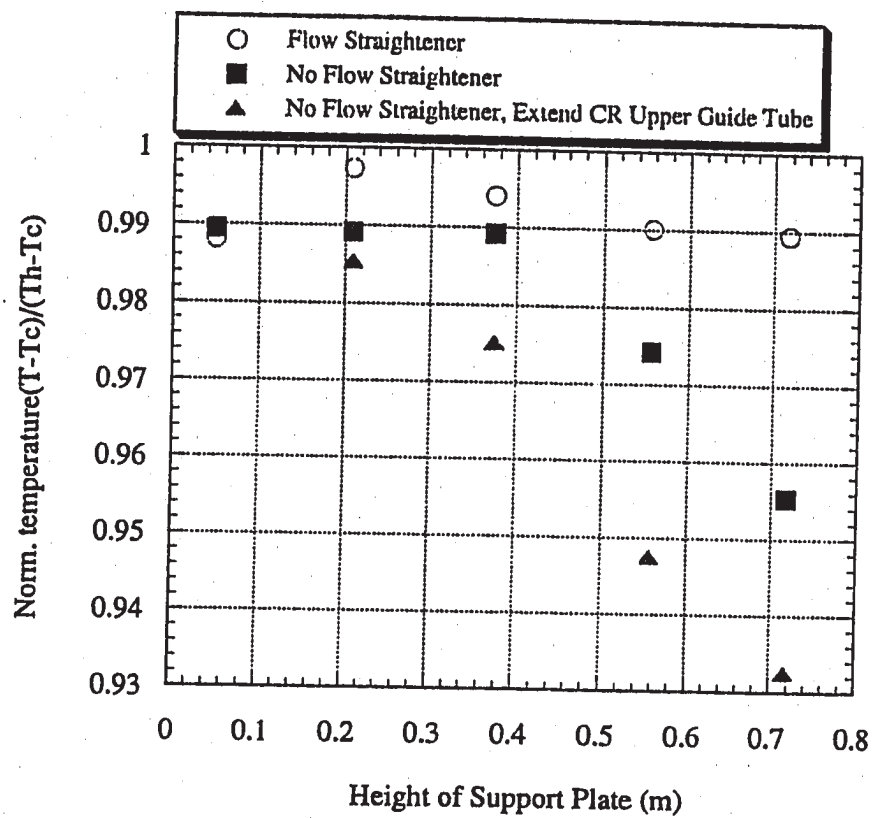


Fig.4.1 Comparison of Normalized Temperature at the Thermocouple Well

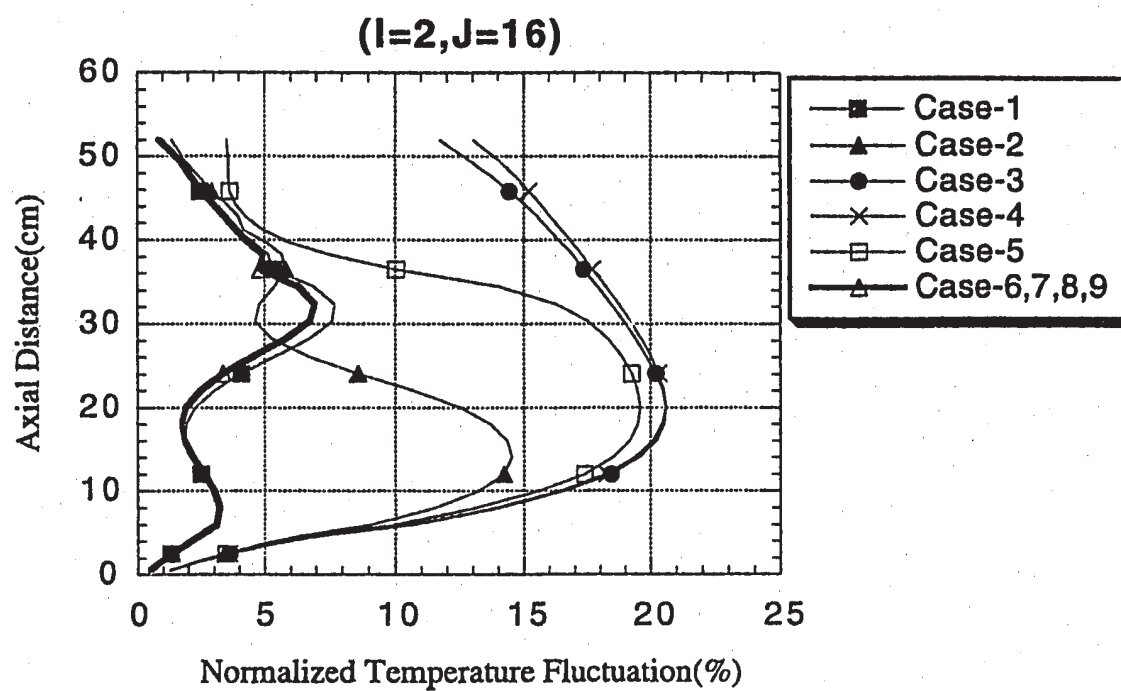


Fig.4.2 Comparison of Axial Distribution of Temperature Fluctuation Along the C/R Extension Rod

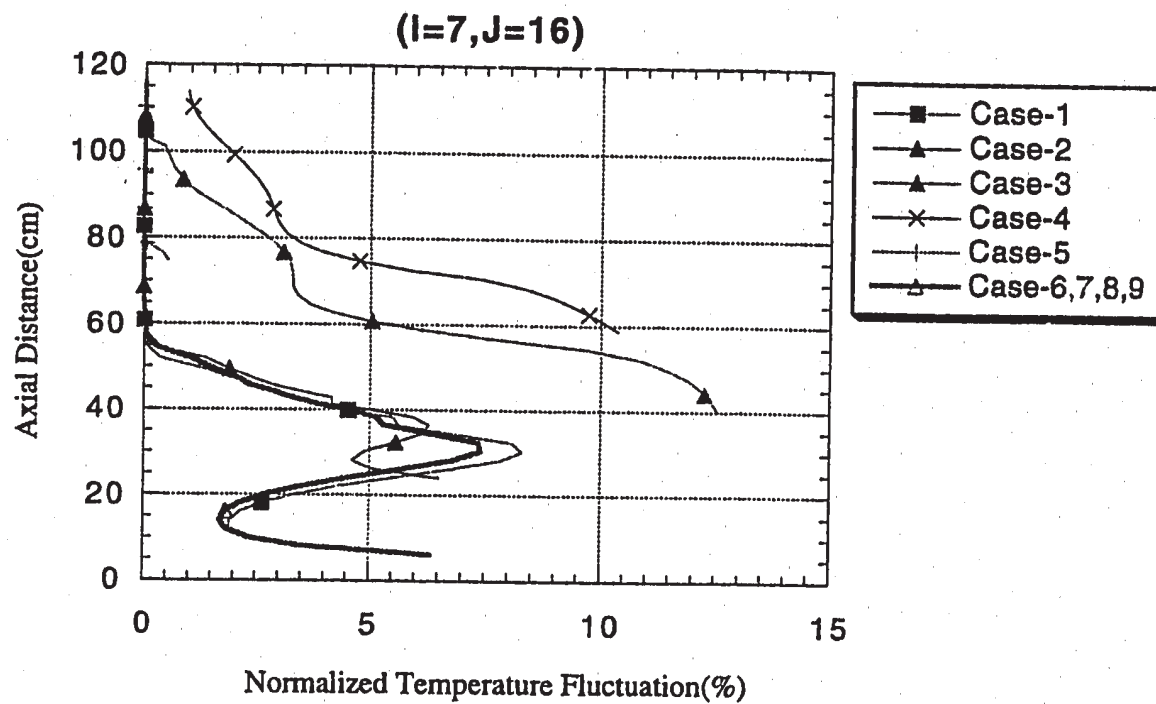


Fig.4.3 Comparison of Axial Distribution of Temperature Fluctuation Along the C/R Guide Tube

APPENDIX

1. 本解析で用いた入力データ (Case-3)

```

*****
*
*   --- THERMAL STRIPING EVALUATION USING 7 S/A MODEL ---
*
*   --- SODIUM EXPERIMENT FOR NOMJU ---
*   *** NO FLOW GUIDE TUBE ***
*   *** EXTENSIVE GUIDE TUBE LENGTH ***
*   NO. OF CASE      10
*
*   BETA      0.383
*
*   RUN      NOV. 28, '89
*           SEP. 7, '92
*           1995.1.5
*
*   REF CASE
*   COPY FROM (NCASEREF)   D.S.NAME      POG1111.AQUA.RSN.LOAD
*
*   L.NODUL      S63E5
*
*****
.&GEOM  IGEOM=-1, NL1=11000, NH1=24000, ISYNCH=3, IFITEN=3,
        IFRES=1, INAX=20, JMAX=24, KNAX=62, MSURF=34,
        DX=0.017, 2*0.004275, 0.00365, 0.00730, 2*0.0195,
        2*0.00625, 0.0117, 0.0148, 0.00520, 0.00860,
        0.00520, 0.0148, 2*0.00585, 0.0359, 2*0.040,
        DY=24*0.065449847,
        DZ=5*0.010, 4*0.020, 5*0.020, 7*0.02071, 5*0.0150,
        2*0.0165, 0.0240, 2*0.025, 6*0.020, 11*0.020, 2*0.025,
        12*0.018333,
        XNORML= 1., 0., -1., 1., -1., 0., 1., -1., 0., 0.,
        0., 0., 1., -1., 0., 0., 0., -1., 0.,
        0., 0., 0., 0., 0., 0., 0., 0., 0., 0.,
        0., 0., -1., 0., 0.,
        YNORML= 0., 0., 0., 0., 0., 0., 0., 0., 1., -1.,
        0., 0., 0., 0., 1., -1., 0., 0., 0.,
        0., 0., 0., 0., 0., 0., 0., 0., 0., 0.,
        0., 0., 0., 1., -1.,
        ZNORML= 0., -1., 0., 0., 0., -1., 0., 0., 0., 0.,
        1., -1., 0., 0., 0., 0., -1., 0., 1.,
        1., 1., 1., 1., 1., 1., 1., 1., 1., 1.,
        1., 1., 0., 0., 0.,
        ITURKE=40, IFPCG=5,
&END
REG -1.      2  2  1  24  1  30  1 EXTENSION ROD OF C/R,+X
REG -1.      3  3  1  24  31  31  1
REG -1.      4  4  1  24  32  37  1
REG -1.      5  5  1  24  38  48  1
REG -1.      6  6  1  24  49  62  1
REG -1.      2  2  1  24  30  30  2 EXTENSION ROD OF C/R,-Z
REG -1.      3  3  1  24  31  31  2
REG -1.      4  4  1  24  37  37  2
REG -1.      5  5  1  24  48  48  2
REG -1.      7  7  1  24  6  62  3 GUIDE TUBE OF C/R,-X
REG -1.      8  8  1  24  6  21  4 GUIDE TUBE OF C/R,+X
REG -1.      8  8  1  24  27  62  4
REG -1.      20 20  1  24  27  50  5 OUTSIDE BOUNDARY,-X***
REG -1.      8  8  1  24  21  21  6 SUPPORT PLATE(K=21),-2
REG -1.      9  9  1  6  21  21  6
REG -1.      9  9  11 22  21  21  6
REG -1.     10 10  4  6  21  21  6
REG -1.     10 10  11 13  21  21  6
REG -1.     10 10  20 22  21  21  6
REG -1.     11 11  5  6  21  21  6
REG -1.     11 11  11 12  21  21  6
REG -1.     11 11  21 22  21  21  6
REG -1.     12 13  6  6  21  21  6
REG -1.     12 13  11 11  21  21  6
REG -1.     12 13  22 22  21  21  6
REG -1.     14 15  5  6  21  21  6
REG -1.     14 15  11 12  21  21  6
REG -1.     14 15  21 22  21  21  6
REG -1.     16 16  4  6  21  21  6
REG -1.     16 16  11 13  21  21  6
REG -1.     16 16  20 22  21  21  6
REG -1.     17 17  3  14  21  21  6
REG -1.     17 17  19 24  21  21  6
REG -1.     18 20  1  24  21  21  6
REG -1.     10 10  1  3  22  26  7 SUPPORT PLATE(K=22-26),+X
REG -1.      9  9  7  10  22  26  7
REG -1.     10 10  14 19  22  26  7
REG -1.      9  9  23  24  22  26  7
REG -1.     11 11  4  4  22  26  7
REG -1.     11 11  13 13  22  26  7
REG -1.     11 11  20 20  22  26  7

```

REG -1.	12	12	5	5	22	26	7
REG -1.	12	12	12	12	22	26	7
REG -1.	12	12	21	21	22	26	7
REG -1.	13	13	5	5	22	26	8
REG -1.	13	13	12	12	22	26	8
REG -1.	13	13	21	21	22	26	8
REG -1.	15	15	4	4	22	26	8
REG -1.	15	15	13	13	22	26	8
REG -1.	15	15	20	20	22	26	8
REG -1.	16	16	3	3	22	26	8
REG -1.	16	16	7	10	22	26	8
REG -1.	16	16	14	14	22	26	8
REG -1.	16	16	19	19	22	26	8
REG -1.	16	16	23	24	22	26	8
REG -1.	17	17	1	2	22	26	8
REG -1.	17	17	15	18	22	26	8
REG -1.	9	16	7	7	22	26	9
REG -1.	12	13	12	12	22	26	9
REG -1.	11	11	13	13	22	26	9
REG -1.	14	15	13	13	22	26	9
REG -1.	10	10	14	14	22	26	9
REG -1.	16	16	14	14	22	26	9
REG -1.	17	17	15	15	22	26	9
REG -1.	9	16	23	23	22	26	9
REG -1.	17	17	2	2	22	26	10
REG -1.	10	10	3	3	22	26	10
REG -1.	16	16	3	3	22	26	10
REG -1.	11	11	4	4	22	26	10
REG -1.	14	15	4	4	22	26	10
REG -1.	12	13	5	5	22	26	10
REG -1.	9	16	10	10	22	26	10
REG -1.	17	17	18	18	22	26	10
REG -1.	10	10	19	19	22	26	10
REG -1.	16	16	19	19	22	26	10
REG -1.	11	11	20	20	22	26	10
REG -1.	14	15	20	20	22	26	10
REG -1.	12	13	21	21	22	26	10
REG -1.	8	8	1	24	27	27	11 SUPPORT PLATE(K=27),+2
REG -1.	9	9	1	6	27	27	11
REG -1.	9	9	11	22	27	27	11
REG -1.	10	10	4	6	27	27	11
REG -1.	10	10	11	13	27	27	11
REG -1.	10	10	20	22	27	27	11
REG -1.	11	11	5	6	27	27	11
REG -1.	11	11	11	12	27	27	11
REG -1.	11	11	21	22	27	27	11
REG -1.	12	13	6	6	27	27	11
REG -1.	12	13	11	11	27	27	11
REG -1.	12	13	22	22	27	27	11
REG -1.	14	15	5	6	27	27	11
REG -1.	14	15	11	12	27	27	11
REG -1.	14	15	21	22	27	27	11
REG -1.	16	16	4	6	27	27	11
REG -1.	16	16	11	13	27	27	11
REG -1.	15	16	20	22	27	27	11
REG -1.	17	17	3	14	27	27	11
REG -1.	17	17	19	24	27	27	11
REG -1.	18	20	1	24	27	27	11 ***
REG -1.	13	13	1	1	18	18	12 THERMOCOUPLE WELL(K=18),-2
REG -1.	13	13	16	17	18	18	12
REG -1.	12	12	1	1	20	20	12
REG -1.	12	12	16	17	20	20	12
REG -1.	14	14	1	1	20	20	12
REG -1.	14	14	16	17	20	20	12
REG -1.	11	11	1	2	30	30	12
REG -1.	11	11	15	18	30	30	12
REG -1.	12	14	2	3	30	30	12
REG -1.	12	14	14	15	30	30	12
REG -1.	12	14	18	19	30	30	12
REG -1.	15	15	1	2	30	30	12
REG -1.	15	15	15	18	30	30	12
REG -1.	14	14	1	1	19	20	13 THERMOCOUPLE WELL,-X
REG -1.	14	14	16	17	19	20	13
REG -1.	15	15	1	1	21	30	13
REG -1.	15	15	16	17	21	30	13
REG -1.	16	16	1	2	31	62	13
REG -1.	15	15	3	3	31	62	13
REG -1.	15	15	14	14	31	62	13
REG -1.	16	16	15	18	31	62	13
REG -1.	15	15	19	19	31	62	13
REG -1.	12	12	1	1	19	20	14 THERMOCOUPLE WELL,-X
REG -1.	12	12	16	17	19	20	14
REG -1.	11	11	1	1	21	30	14
REG -1.	11	11	16	17	21	30	14

REG -1.	10	10	1	2	31	62	14	
REG -1.	11	11	3	3	31	62	14	
REG -1.	11	11	14	14	31	62	14	
REG -1.	10	10	15	18	31	62	14	
REG -1.	11	11	19	19	31	62	14	
REG -1.	13	13	2	2	19	20	15	THERMOCOUPLE WELL,+Y
REG -1.	13	13	18	18	19	20	15	
REG -1.	12	14	2	2	21	30	15	
REG -1.	12	14	18	18	21	30	15	
REG -1.	11	11	3	3	31	62	15	
REG -1.	15	15	3	3	31	62	15	
REG -1.	12	14	4	4	31	62	15	
REG -1.	11	11	19	19	31	62	15	
REG -1.	15	15	19	19	31	62	15	
REG -1.	12	14	20	20	31	62	15	
REG -1.	13	13	15	15	19	20	16	THERMOCOUPLE WELL,-Y
REG -1.	12	14	15	15	21	30	16	
REG -1.	12	14	13	13	31	62	16	
REG -1.	11	11	14	14	31	62	16	
REG -1.	15	15	14	14	31	62	16	
REG -1.	6	10	1	24	62	62	17	OUTLET PLANE,-2
REG -1.	11	11	3	14	62	62	17	
REG -1.	11	11	19	24	62	62	17	
REG -1.	12	14	4	13	62	62	17	
REG -1.	12	14	20	24	62	62	17	
REG -1.	15	15	3	14	62	62	17	
REG -1.	15	15	19	24	62	62	17	
REG -1.	16	20	1	24	62	62	17	
REG -1.	20	20	1	24	51	62	18	OUTLET PLANE,-X
REG -1.	2	2	1	24	1	1	19	C/R CHANNEL-1,+2
REG -1.	3	3	1	24	1	1	20	C/R CHANNEL-2,+2
REG -1.	4	4	1	24	1	1	21	C/R CHANNEL-3,+2
REG -1.	5	5	1	24	1	1	22	C/R CHANNEL-4,+2
REG -1.	12	13	1	1	1	1	23	S/A-1 CHANNEL-1,+2
REG -1.	12	12	2	2	1	1	23	
REG -1.	11	11	1	2	1	1	24	S/A-1 CHANNEL-2,+2
REG -1.	11	12	3	3	1	1	24	
REG -1.	13	14	2	2	1	1	24	
REG -1.	14	14	1	1	1	1	24	
REG -1.	10	10	1	3	1	1	25	S/A-1 CHANNEL-3,+2
REG -1.	11	12	4	4	1	1	25	
REG -1.	13	14	3	3	1	1	25	
REG -1.	15	15	1	2	1	1	25	
REG -1.	9	9	1	3	1	1	26	S/A-1 CHANNEL-4,+2
REG -1.	10	10	4	4	1	1	26	
REG -1.	11	12	5	5	1	1	26	
REG -1.	13	14	4	4	1	1	26	
REG -1.	15	15	3	3	1	1	26	
REG -1.	16	16	1	2	1	1	26	
REG -1.	12	12	15	18	1	1	27	S/A-2 CHANNEL-1
REG -1.	13	13	16	17	1	1	27	
REG -1.	11	11	14	19	1	1	28	S/A-2 CHANNEL-2
REG -1.	12	12	14	14	1	1	28	
REG -1.	12	12	19	19	1	1	28	
REG -1.	13	13	15	15	1	1	28	
REG -1.	13	13	18	18	1	1	28	
REG -1.	14	14	15	18	1	1	28	
REG -1.	10	10	14	19	1	1	29	S/A-2 CHANNEL-3
REG -1.	11	12	13	13	1	1	29	
REG -1.	11	12	20	20	1	1	29	
REG -1.	13	14	14	14	1	1	29	
REG -1.	13	14	19	19	1	1	29	
REG -1.	15	15	15	18	1	1	29	
REG -1.	9	9	14	19	1	1	30	S/A-2 CHANNEL-4
REG -1.	10	10	13	13	1	1	30	
REG -1.	10	10	20	20	1	1	30	
REG -1.	11	12	12	12	1	1	30	
REG -1.	11	12	21	21	1	1	30	
REG -1.	13	14	13	13	1	1	30	
REG -1.	13	14	20	20	1	1	30	
REG -1.	15	15	14	14	1	1	30	
REG -1.	15	15	19	19	1	1	30	
REG -1.	16	16	15	18	1	1	30	
REG -1.	6	8	1	24	1	1	31	S/A GAP
REG -1.	9	9	4	13	1	1	31	
REG -1.	9	9	20	24	1	1	31	
REG -1.	10	10	5	12	1	1	31	
REG -1.	10	10	21	24	1	1	31	
REG -1.	11	12	6	11	1	1	31	
REG -1.	11	12	22	24	1	1	31	
REG -1.	13	14	5	12	1	1	31	
REG -1.	13	14	21	24	1	1	31	
REG -1.	15	15	4	13	1	1	31	
REG -1.	15	15	20	24	1	1	31	

```

REG -1.      16 16 3 14 1 1 31
REG -1.      16 16 19 24 1 1 31
REG -1.      17 20 1 24 1 1 31
REG -1.      20 20 1 24 1 21 32 -X
REG -1.      2 20 1 1 1 18 33 SYMMETRICAL PLANE,+Y
REG -1.      2 12 1 1 19 20 33
REG -1.      14 20 1 1 19 20 33
REG -1.      2 11 1 1 21 21 33
REG -1.      15 20 1 1 21 21 33
REG -1.      2 7 1 1 22 26 33
REG -1.      10 11 1 1 22 26 33
REG -1.      15 17 1 1 22 26 33
REG -1.      2 11 1 1 27 30 33
REG -1.      15 20 1 1 27 30 33 ***
REG -1.      3 10 1 1 31 31 33
REG -1.      16 20 1 1 31 31 33 ***
REG -1.      4 10 1 1 32 37 33
REG -1.      16 20 1 1 32 37 33 ***
REG -1.      5 10 1 1 38 48 33
REG -1.      16 20 1 1 38 48 33 ***
REG -1.      6 10 1 1 49 50 33
REG -1.      16 20 1 1 49 50 33 ***
REG -1.      6 10 1 1 51 62 33
REG -1.      16 20 1 1 51 62 33
REG -1.      2 20 24 24 1 21 34 SYMMETRICAL PLANE,-Y
REG -1.      2 7 24 24 22 26 34
REG -1.      9 16 24 24 22 26 34
REG -1.      2 20 24 24 27 30 34 ***
REG -1.      3 20 24 24 31 31 34 ***
REG -1.      4 20 24 24 32 37 34 ***
REG -1.      5 20 24 24 38 48 34 ***
REG -1.      6 20 24 24 49 50 34 ***
REG -1.      6 20 24 24 51 62 34

```

END

```

&DATA MTHAX=99999, IDTIME=0, IT=1, 1,
      IFENER=0, RDTIME=0.3,
      IFNHO=2, IFNEM=0, IFMTB=1,
      IDISP=0, MTSNRY=100,
      DT(1)=0.0100000, TREST=100.0,
      KFLOW= 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1,
              1, 1, 1, 1, 1, 1, -2, 1, 1,
              1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1,
              1, 1, -3, -3,
      KFLOW= 17=-3, -2, 12=1, 4=-3,
      KTEMP= 18=400, 12=1, 4=400,
      VELOC(19)=4.598400, TEMP(19)=408.0,
      VELOC(20)=4.242100, TEMP(20)=408.0,
      VELOC(21)=3.558200, TEMP(21)=408.0,
      VELOC(22)=2.773800, TEMP(22)=408.0,

      VELOC(23)=7.657200, TEMP(23)=560.0,
      VELOC(24)=7.978400, TEMP(24)=560.0,
      VELOC(25)=6.021400, TEMP(25)=560.0,
      VELOC(26)=4.516000, TEMP(26)=560.0,

      VELOC(27)=7.657200, TEMP(27)=560.0,
      VELOC(28)=7.978400, TEMP(28)=560.0,
      VELOC(29)=6.021400, TEMP(29)=560.0,
      VELOC(30)=4.516000, TEMP(30)=560.0,
      TENPO= 560.0, GRAV2=-9.807,
      MTPLOT=-9999,
      ISTPR =012001, 022001, 032001, 052001, 142001, 212001, 202001,
              232001, 242001, 252001, 262001, 272001, 282001, 292001,
              302001, 312001, 322001,
      MTPRNT=-9999,
      MTHPR =012001, 022001, 032001, 052001, 142001, 212001, 202001,
              232001, 242001, 252001, 262001, 272001, 282001, 292001,
              302001, 312001, 322001,

```

&END

&TURB

```

C3E=0.7,
CINK1=3.30E-3, CINK2=3.30E-3,
CINE1=0.02612, CINE2=3.02612,
CINZ1=1.00E-10,
CINZ2=1.00E-10, CINZ3=1.00E-10,
CINZ4=1.00E-10,
CRS1= 2.0, CRS2= 0.6, CRS3= 0.5,
CHF1= 3.2, CHF2= 0.5, CHF3= 0.5,
HYDIN=1.0E10, KEITER= 1, ITKBUG=0,

```

&END

END
END